２　指導上の留意点と授業事例

（１）生物と遺伝子

１．新学習指導要領での位置付け

生物と遺伝子について観察，実験などを通して探究し，細胞の働き及びＤＮＡの構造と機能の概要を理解させ，生物についての共通性と多様性の視点を身に付けさせる。

ア　生物の特徴
　(ｱ)　生物の共通性と多様性　　　→**事例Ⅰ**
　　生物は多様でありながら共通性をもっていることを理解すること。
　(ｲ)　細胞とエネルギー
　　生命活動に必要なエネルギーと代謝について理解すること。

（内容の構成及び取扱い）
　(ｱ)については，生物が共通性を保ちながら進化し多様化してきたこと，その共通性は起源の共有に由来することを扱うこと。その際，原核生物と真核生物の観察を行うこと。(ｲ)については，呼吸と光合成の概要を扱うこと。その際，酵素の触媒作用やＡＴＰの役割，ミトコンドリアと葉緑体の起源にも触れること。

イ　遺伝子とその働き
　(ｱ)　遺伝情報とＤＮＡ
　　遺伝情報を担う物質としてのＤＮＡの特徴について理解すること。
　(ｲ)　遺伝情報の分配
　　ＤＮＡが複製され分配されることにより，遺伝情報が伝えられることを理解すること。
　(ｳ)　遺伝情報とタンパク質の合成　　　→**事例Ⅱ**
　　ＤＮＡの情報に基づいてタンパク質が合成されることを理解すること。

（内容の構成及び取扱い）
　(ｱ)については，ＤＮＡの二重らせん構造と塩基の相補性を扱うこと。また，遺伝子とゲノムとの関係に触れること。(ｲ)については，細胞周期と関連付けて扱うこと。(ｳ)については，転写と翻訳の概要を扱うこと。その際，タンパク質の生命現象における重要性にも触れること。また，すべての遺伝子が常に発現しているわけではないことにも触れること。

ウ　生物と遺伝子に関する探究活動
　生物と遺伝子に関する探究活動を行い，学習内容の理解を深めるとともに，生物学的に探究する能力を高めること。

２．学習評価について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価規準	生物と遺伝子に関する事象について関心をもち、意欲的に探究しようとするとともに、科学的な見方や考え方を身に付けている。	生物と遺伝子に関する事象の中に問題を見いだし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	生物と遺伝子に関する事象について、観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、科学的に探究する技能を身に付けている。	生物と遺伝子に関する事象について、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

３．本単元における事例

事例Ⅰ：生物の共通性と多様性

現存する多様な生物には共通性があり、その共通性は共通の起源をもつことに由来することを理解させることをねらいとし、原核生物と真核生物の観察を行う。その姿は多様であっても、どれも細胞が基本単位であること、細胞の構造の比較により生物が分類できることを取り上げる。原核生物の試料の例としては、食品中の乳酸菌や枯草菌など考えられるが、本事例では、校舎の陰の湿った場所などで採取できるイシクラゲ（ネンジュモ）を利用することで、「共生説」「窒素固定」「生物の進化と地球環境の変化」についても探究的に学ばせられることを紹介する。

事例Ⅱ：遺伝情報とＤＮＡ

ＤＮＡの構造については、ＤＮＡが塩基の相補性に依存して二重らせん構造をもつこと、塩基の配列が遺伝情報となることを扱う。遺伝子とゲノムの関係については、個々の遺伝子はゲノムを構成するＤＮＡのごく一部であることに触れる。

転写と翻訳の概要については、ＤＮＡの塩基配列からｍＲＮＡの塩基配列へ、ｍＲＮＡの塩基配列からアミノ酸の配列へという情報の流れを扱う。また、タンパク質が、酵素として働くなどして、生命現象を支えていることについても触れる。

これらを踏まえて、ＤＮＡの抽出実験、ＤＮＡ分子モデルの作製、パフの観察などが考えられるが、本事例では、組換え遺伝子の導入による形質転換実験を題材として、遺伝子の発現の仕組みを学ばせる。

なお、遺伝子を扱った技術の原理は、「生物」（４単位）の **(1)生命現象と物質　ウ遺伝情報の発現　(ｳ)バイオテクノロジー**で詳しく学ぶので、「生物基礎」で本事例を実施する際には、先端技術を用いた実験に触れることで生物工学に関心をもたせるとともに、遺伝子組換えによる形質転換、遺伝子の発現について理解させることを目標とする。

事例Ⅰ　生物の共通性と多様性

１．授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
1	思考学習： 分類の考え方 【資料】 P. 15～18	歴史的な経緯をたどりながら、分類の考え方を理解させ、細胞の構造の比較が重要であることに気付かせる。	○生物学の学習への導入編として、既知の試料を取り上げ、思考過程を通じた関心喚起をねらいとしている。 ○マーギュリスらが提唱する五界説までを主に考えさせるが、現代の分類体系においては３ドメイン説が主体となってきていることも踏まえておく。 （→「生物」（標準４単位）**(5)生物の進化と系統　イ生物の系統**）
2	実験： 細胞の構造の比較 【資料】 P. 19～20	未知の試料（イシクラゲ・ワカメ・コカナダモ）を観察させ、細胞の構造の比較から、分類上の位置付けを考察させる。	○細胞の構造の共通性と多様性を実感させる。 ○観察結果（大きさの比較）とともに、独自のＤＮＡをもつことを提示し、葉緑体の細胞内共生説に言及する。
	課題研究 【資料】 P. 20	イシクラゲに関連する学習項目を提示し、資料学習を通して発展的な内容へつなげさせる。	○「窒素固定」・「休眠」に着目し、生息環境との関係を考察させる。（→大単元**(3)イ(ｱ)生態系と物質循環**） ○「生物の進化と地球環境の変化」に着目し、光合成による酸素放出が大気の組成変化をもたらし、地質時代における地層形成への影響、紫外線照射量の変化による生物進化などに触れる。 （→「生物」（標準４単位）**(5)生物の進化と系統　ア(ｱ)生命の起源と生物の変遷**） ○扱われる内容の断片的な理解に留めないためにも、教材試料を取り上げることによって内容を関連させ、生物現象を総合的に理解させる。

２．教材試料について

（１）イシクラゲ（*Nostoc commune*）の分類上の位置付け

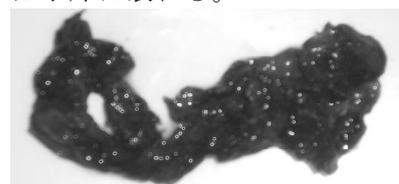
原核生物のラン藻（藍藻：blue-green algae）類、ネンジュモ属（*Nostoc* 属）の一種である。

「blue-green algae」は、細胞の構造が細菌と類似しているため、生物学分野では国際的にほとんど「cyanobacteria」で置き換えられており、その訳としては「シアノバクテリア」が一般的である。学習指導要領の改訂にあたっては、国際標準・大学教育の基礎生物学に準じて内容・用語を見直していることから、本事例では「シアノバクテリア」を用いる。

（２）野外での生育状況

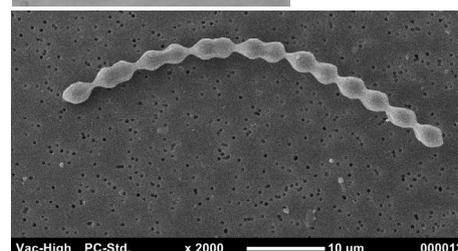
イシクラゲは、日本全国の住宅街の空き地、田の畔や校庭の端の方の土壌、芝生の表面やコンクリート上などに、肉眼的な大きさのコロニーを作って生育している。雨の後など藻体が湿っているときは寒天のような感触があり、色は黒味がかった緑色から褐色である。乾燥した時（休眠

状態）は黒色の乾燥ワカメのような薄い皮膜状を示し、手で揉めば小片に壊れる。

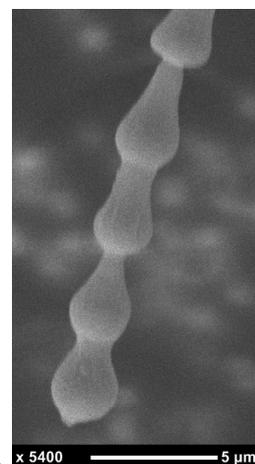
世界中に広く分布し、南極の湿土上やコケ群落上にも生育している。こうした他の植物が生育しにくい環境とイシクラゲの生理を関連させて考察させることも考えられる。

イシクラゲの群体

（３）イシクラゲの細胞の構造から考察できること

① イシクラゲをスライドガラス上で柄付き針などで細かくほぐし、顕微鏡で観察すると、寒天質の基質の中に多数の球形から樽型の細胞が数珠のようにならんでいる。この形から *Nostoc* 属はネンジュモ（念珠藻）と称されている。細胞内には核の他、ミトコンドリア、葉緑体など細胞小器はなく、原核生物であることが分かる。1,000倍程度での顕微鏡観察で、細胞内は貯蔵物質の顆粒が認められることがあるが、細胞小器官ではない。

（×400）

球形細胞の糸状体（×2000）

② 細胞内に光合成色素（クロロフィル a、フィコシアニン、フィコエリトリン）や炭酸同化を行う酵素が存在しており、細胞自体が葉緑体の機能をもっている。光合成の結果、緑色植物などと同様に酸素を発生させる。

③ 数珠のように並んでいる糸状体の中に、透明感があり、一回り他の細胞より大きく細胞壁の厚い細胞がある。これを異質細胞（heterocyst）といい、空気中の窒素をアンモニアに換える窒素固定が行われている。この細胞の中では酸素発生を伴う反応系がないことが知られている。窒素固定酵素（ニトロゲナーゼ）は酸素によって不可逆的に活性を失うことが知られており、窒素固定を行う細胞が、酸素から保護されるよう特殊化している。空中窒素を固定できるのは原核生物に限られており、シアノバクテリアの他、マメ科植物に共生する根粒菌やアゾトバクターなどの細菌類が知られている。

（４）イシクラゲの細胞と植物の細胞を比較して考察できること

イシクラゲの細胞の大きさ（３～６μｍ）とカナダモの葉緑体の大きさ（長径３～10μｍ）を測定すると、ほぼ等しいことが分かる。単細胞性のシアノバクテリアにも、陸上植物の葉緑体の大きさとほぼ同じ大きさの種類が存在している。このことから、シアノバクテリアは真核生物の葉緑体の元となった生物であると考えられている。その他の根拠として、葉緑体にはそれが独立した原核生物であったことを推察させる次のような特徴が知られている。

樽型細胞の糸状体

- 葉緑体には、核とは異なる独自の葉緑体ＤＮＡが含まれている。
- 真核生物の細胞内にある葉緑体は、細胞分裂に同調して自ら分裂して娘細胞に伝えられる。
- 原核生物の細菌と同様のリボソームが含まれている。
- 細菌の抗生物質は、葉緑体にも同様の作用を示す。

真核生物の祖先が単細胞性のシアノバクテリアを取り込み、消化せずに共生させた結果が現在の葉緑体と考えるのが細胞内共生説であり、現在は強く支持されている。

（５）イシクラゲを題材とした発展的学習　～生物の進化と地球環境の変化～

イシクラゲが属しているシアノバクテリアは地球上で最初に酸素発生型の光合成を行った生物であり、地球上に約30億年前に出現したと考えられている。（イシクラゲの属するネンジュモ科の生物には窒素固定を行う異質細胞があるが、これと考えられる細胞をもつシアノバクテリアの化石が、約19億年前の北アメリカのガンフリント層より見つかっている。）

シアノバクテリアが出現する以前の光合成細菌は、二酸化炭素と硫化水素（H_2S）などを用いて炭水化物を同化し、その副産物として硫黄などを沈積していた。シアノバクテリアは光合成の原料として硫化水素に代わって水（H_2O）を利用するようになり、その結果、光合成の副産物として酸素を発生した。

酸素発生型の光合成生物が現れるまでは地球上には酸素分子（O_2）はほとんど存在しなかったが、約27億年前に酸素発生型の光合成生物が出現すると、その光合成によって酸素は大気中に蓄積され、次第に酸素濃度が高くなっていった。

光合成生物が産出した分子状の酸素は、大気中に蓄積される前に、まず海洋を酸化させ、大量の鉄を沈殿させた。それが層を成し、現在産出している縞状鉄鉱石になった。

現在の酸素濃度の１/100（0.2%）になったとき、発酵（無気呼吸）を行っていた生物から酸素呼吸を行う生物が進化により生じて、効率良くエネルギーを利用できるようになった。また、大気中の酸素濃度の増加に伴って、太陽からの紫外線は水面下数cmのところに制限され、生物が海全体や他の水域まで自由に広がることができた。時代としては生物の爆発的な進化が起きたカンブリア紀初期（約5.7億年前）に当たる。

さらに大気中の酸素濃度が増し、現在の酸素濃度の１/10（２%）になったとき、紫外線をカットするオゾン層が成層圏に形成され、生物は陸上に進出することができるようになった。この時期は、初めて陸上生物の化石が産出する4.2億年前のシルル紀後期に当たる。

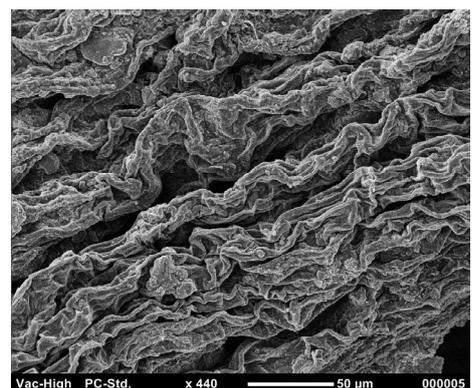
シアノバクテリアは、真核生物が現れる以前は、唯一の酸素発生型光合成生物であり、地球環境や生物の進化に重要な役割を果たした生物である。（真核生物の出現は化石の記録から約14億年前とされている。）

（６）イシクラゲを題材とした発展的学習　～休眠と生息環境～

イシクラゲは休眠胞子（アキネート akinete）を分化せず、乾燥状態で無代謝状態となって生命を維持する能力（クリプトビオシス cryptobiosis :「隠された生命活動」の意）を示すことが知られている。100年以上乾燥状態で保存されていた標本を培養液に浸すと増殖し始めたという報告がある。乾燥したイシクラゲのコロニーにはトレハロースという糖が蓄積しており、細胞外多糖とともに極限的な乾燥耐性に深く関わっていると考えられている。

休眠状態のイシクラゲの表面

クリプトビオシスを行なう生物として、クマムシ（緩歩動物門）、ワムシ（輪形動物門）、ネムリユスリカ（節足動物門）が挙げられる。いずれも乾燥状態になるにつれて、体内にトレハロースを蓄積している。その作用は、分子の運動を制限する状態を維持するためにガラス化して組織を保持するという説と、水の代わりに入り込む水置換説があるが、それらの作用が複合的に関与しているとも考えられている。

アルテミアやミジンコなどでは、耐久卵がクリプトビオシスに当たる。これらの動物では生息環境の水が無くなると親は死滅し、卵のみが乾燥に耐えて生存する。ミジンコでは、環境条件の

良い時期には単為発生によって繁殖し、条件が悪くなると雄が生じて交尾により卵を産むが、この卵のみが耐久卵になる。

３．単元の学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価規準	○日常生活との関連を図りながら身近な生物やその生息環境に関心をもっている。 ○生物の共通性と多様性について関心をもち、意欲的にそれらを探究しようとする。	○生物や生物現象の中に、多様であっても共通の性質や構造があることを見いだしている。 ○探究する過程を通して、事象を科学的に考察している。 ○予想や結果、導き出した考えを文章やスケッチで的確に表現している。	○顕微鏡での観察に適したプレパラートを作製している。 ○顕微鏡の基本操作を習得している。 ○作製したプレパラートを検鏡し、細胞や細胞小器官の大きさを測定している。 ○実験の過程や結果を的確に記録、整理し、自然の事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。	○生物が、起源の共有に由来する共通性を保ちながら進化し多様化してきたことを理解し、その知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

４．参考資料

・原核生物ネンジュモの一種「イシクラゲ」の教材化　　2005.12
　平成16年度日産科学振興財団　理科・環境教育助成金報告書
　島根大学教育学部自然環境教育講座（生物学担当）　大谷修司
　　http://physics. edu. shimane-u. ac. jp/energy/picture/Nostoc. pdf
・界（分類学）
　　http://ja. wikipedia. org/wiki/%E7%95%8C_(%E5%88%86%E9%A1%9E%E5%AD%A6)

思考学習

分類の考え方

博物学での三界　（～18世紀）

〔自然界（地球上）に肉眼で見られるもの〕

イヌ　カイメン　金　クリ　コスモス　サンゴ　ダイアモンド　鉄

ナマケモノ　ホヤ　・・・

＜成長する＞

（YES）

生　物

＜移動生活をする＞

（YES）

イヌ　ナマケモノ

【動物界】

（NO）

＊カイメン　クリ

コスモス　＊サンゴ

＊ホヤ

【植物界】

（NO）

金　ダイアモンド　鉄

【鉱物界】

＊カイメン、サンゴ、ホヤなど、現代の知見では動物界に分類されるものが誤っている。

二界説　（1735 C. v. Linné）

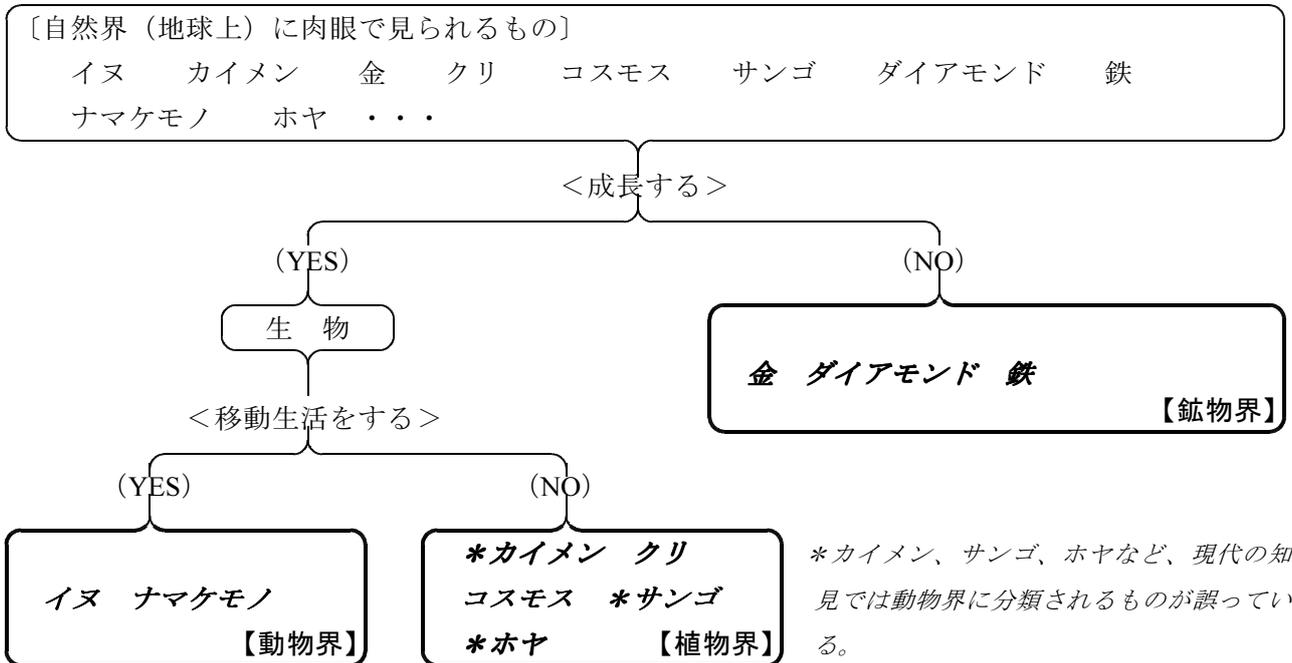
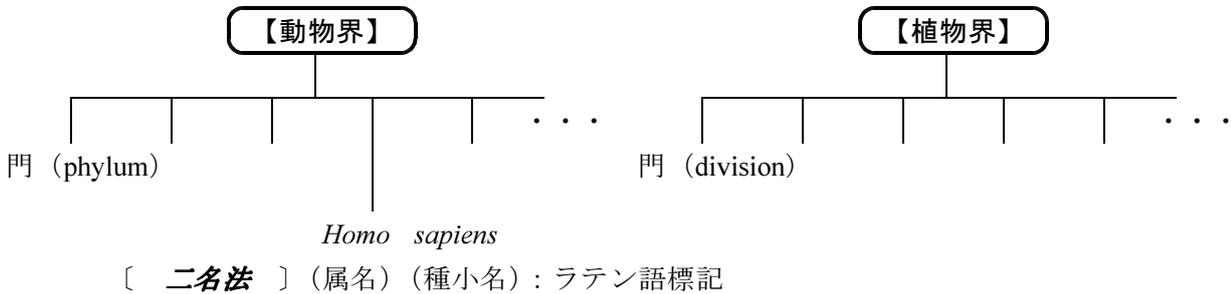
【動物界】

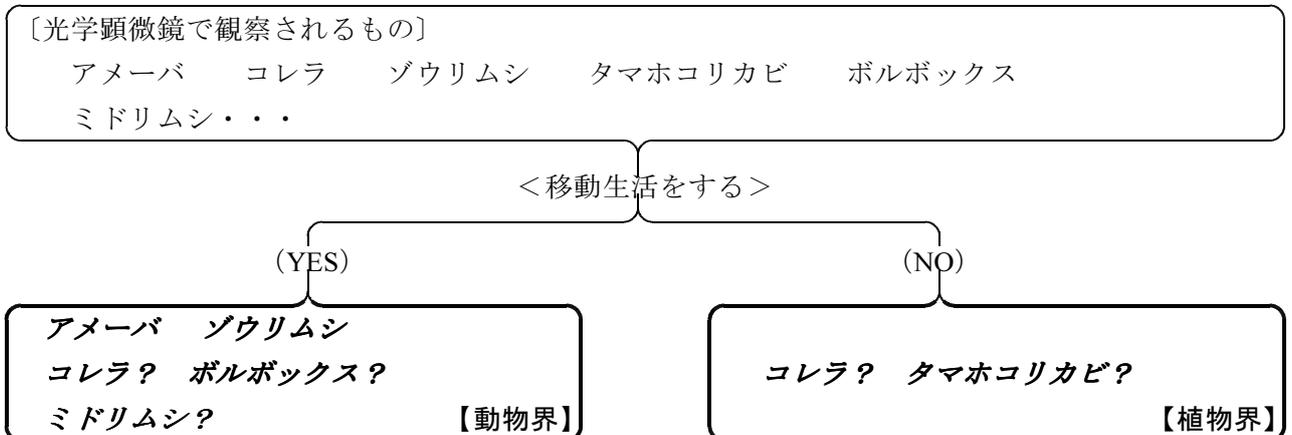
門（phylum）・・・

Homo　sapiens

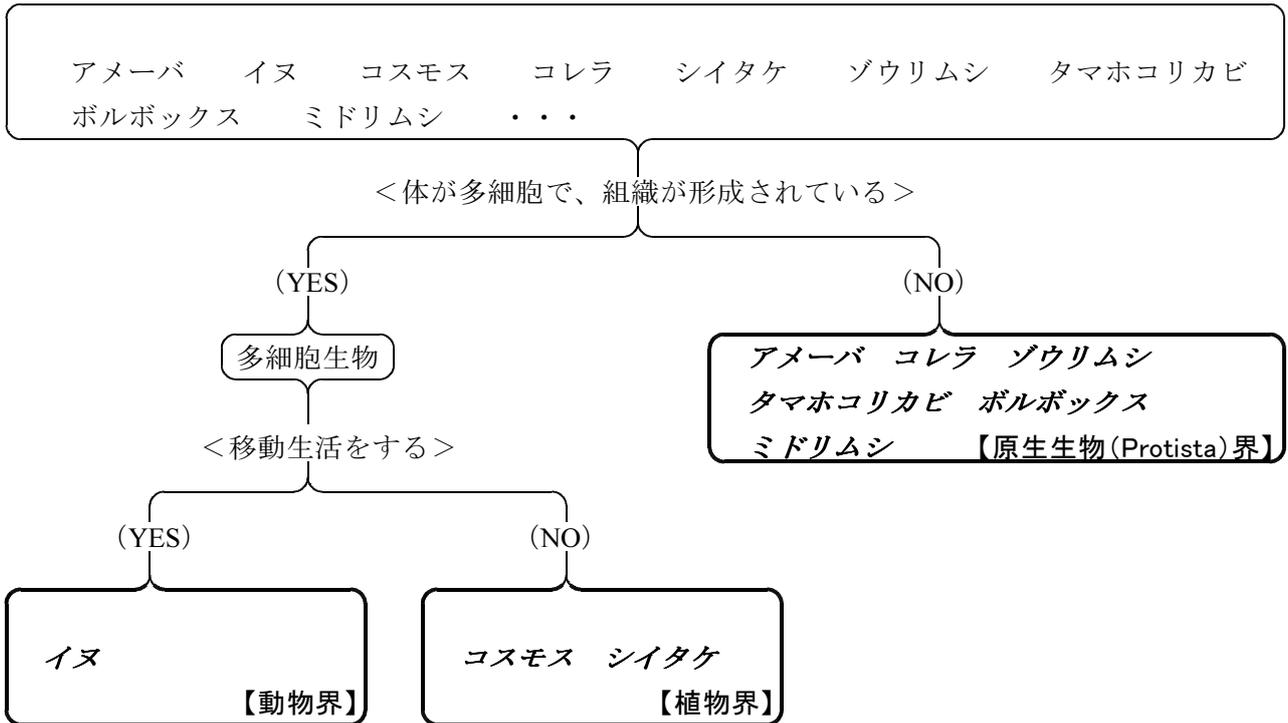
【植物界】

門（division）・・・

〔　***二名法***　〕（属名）（種小名）：ラテン語標記

微生物の知見の蓄積　（～19世紀）

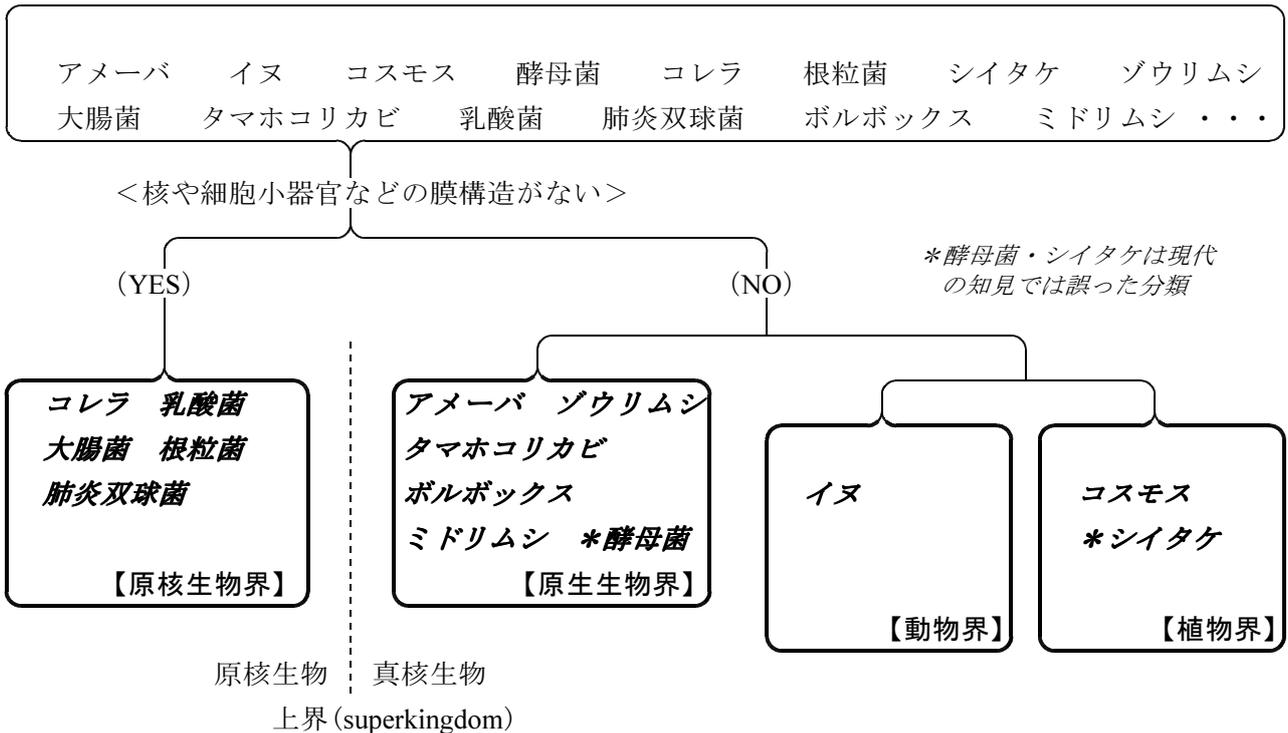
（*※R. Hooke「ミクログラフィア」(1665)～*）

＊着目する形質によって、多数の種が双方に属することになった。

顕微鏡が発明されたことなどにより、二界説では説明が不十分であることが分かった。

三界説　（1878年　E. H. P. A. Haeckel）

四界説　（1938年　H. Copeland）

（※1932年　E. Ruska　らが電子顕微鏡を発明）

細菌類の細胞構造が、他の生物と根本的に異なっていることが発見される（核や細胞小器官などの膜構造がない）。それらを真核生物と分け、モネラ（Monera）や細菌（Bacteria）と呼び、現在は原核生物界と呼ばれる。

なお、1937年、E. Chatton は、原核生物と真核生物の分類が根本的なものであるとして、生物を原核生物と真核生物の二つの上界（superkingdom）に分けた。この考えが、現在のドメインに発展することとなる。

五界説　（1969年　R. H. Whittaker）　栄養生産の違いに基礎を置く一般的な標準分類体系

アメーバ　イヌ　カイメン　クリ　酵母菌　コスモス　コレラ　サンゴ　シイタケ　ゾウリムシ　大腸菌　タマホコリカビ　ナマケモノ　乳酸菌　ホヤ　ボルボックス　ミドリムシ　・・・

＜細胞に核や細胞小器官などの膜構造がない＞

（YES）

コレラ　大腸菌　乳酸菌

【原核生物界】

（NO）

真核生物

＜体が単細胞か単純な群体性の細胞である＞

（YES）

アメーバ　ゾウリムシ
タマホコリカビ
ボルボックス　ミドリムシ

【原生生物界】

（NO）

多細胞生物

（栄養生産の違い）

＜従属栄養生物（消費者）＞

イヌ　カイメン　サンゴ
ナマケモノ　ホヤ

【動物界】

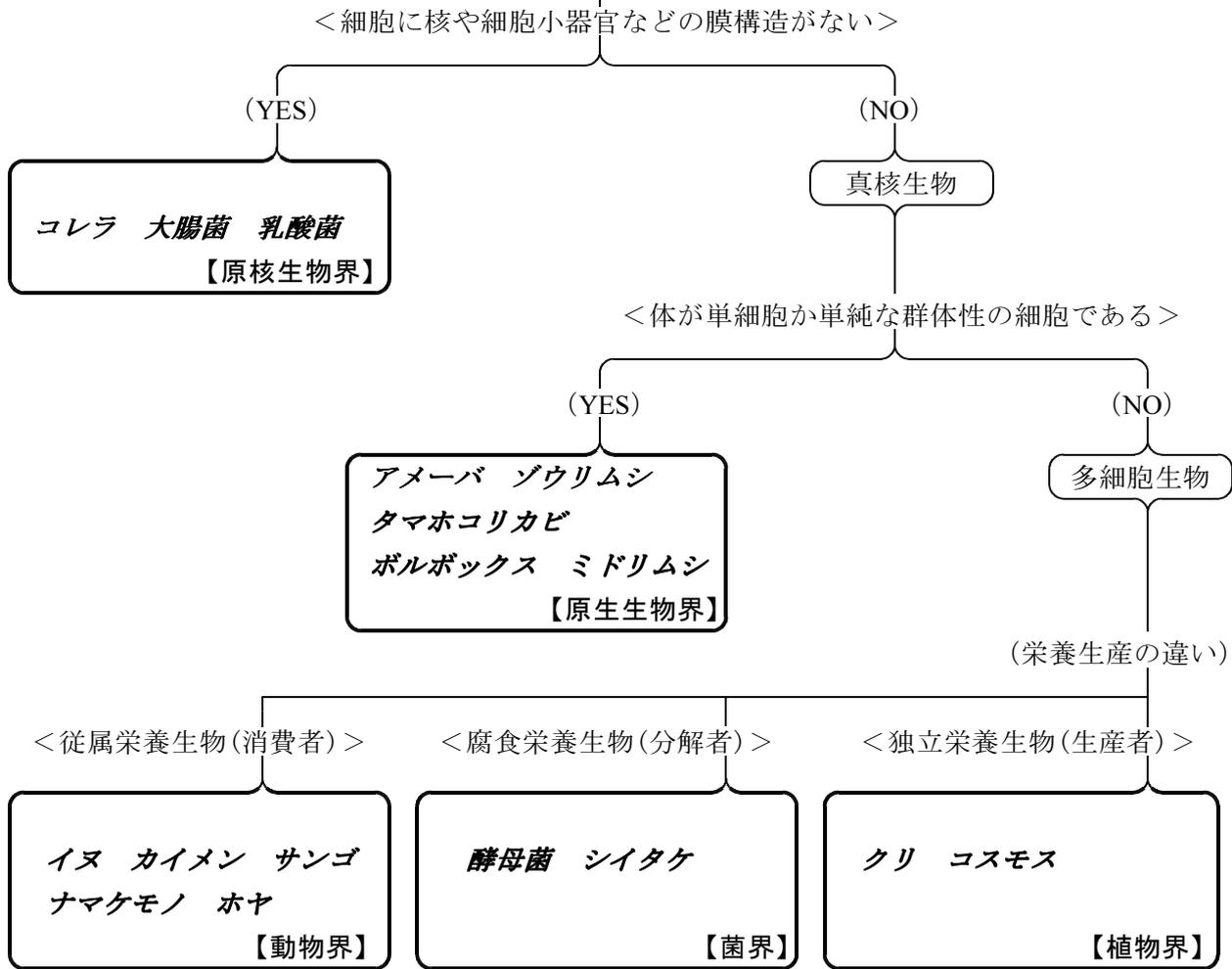
＜腐食栄養生物（分解者）＞

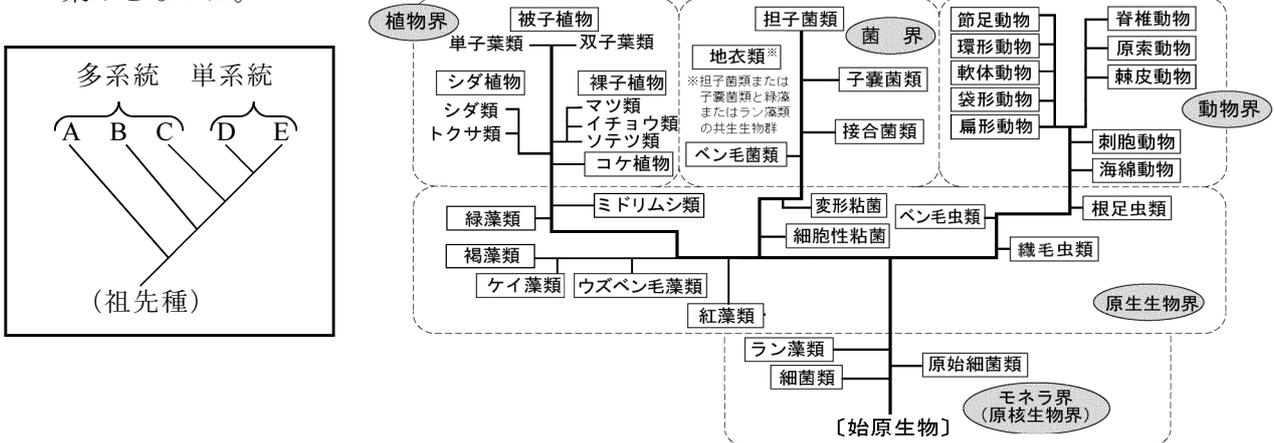
酵母菌　シイタケ

【菌界】

＜独立栄養生物（生産者）＞

クリ　コスモス

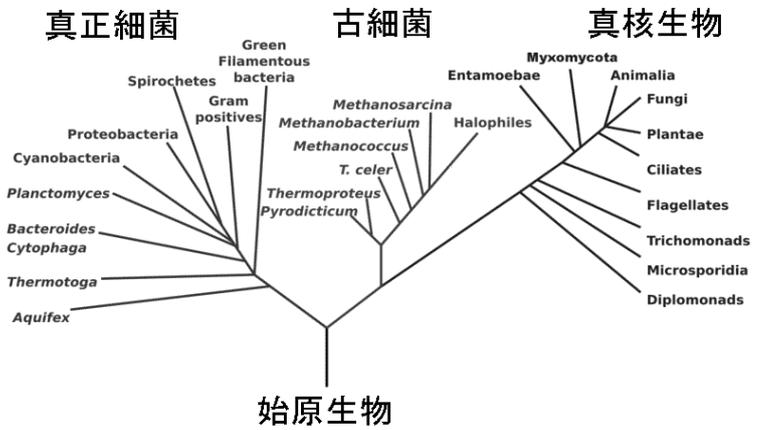
【植物界】

1980年代：分岐分類学の発展により、動物界・植物界・菌界の単系統性の再評価がなされた。

→それまでの植物からすべての高等藻類、菌類から粘菌類・卵菌類を原生生物界へと移す提案がなされた（1978年　L. Margulis）。ただし、この変更により、原生生物はますます雑多な生物の寄せ集めとなった。

六界説

1977年 C. R. Woese は、rRNA の研究を基礎にして、原核生物を真正細菌界と古細菌界に分けた。（→３ドメイン説）

1984年には Lake らが、好熱古細菌と真核生物が互いに近縁であることを示した。

現在の界・界以上の分類

１９９０年、C. R. Woese は、真正細菌（Bacteria）・古細菌（Archaea）・真核生物（Eucarya）を三つの基本的な系統とみなし、これらをドメイン（domain：領域）に格上げした。（superkingdom：原核生物と真核生物の差が、真核生物内部での植物と動物の差より大きいものと考えられるようになったこと、また古細菌の発見によって原核生物内の多様性が想像以上に大きいことが分かってきたことによって、界より上のランクを設定した方がよい、との判断が生まれてきたことによる。基礎的なゲノムの進化の違いを反映して行われる。）この３ドメイン説は、従来の２上界説（原核生物界と真核生物界）にかわって、界以上の分類法の標準となっている。

＜分類学の主な変遷＞

<table>
<tr><td>提唱者</td><td>リンネ</td><td>ヘッケル</td><td>コープランド</td><td>ホイタッカー</td><td>マーギュリス</td><td>ウーズ</td><td>ウーズ</td></tr>
<tr><td>年</td><td>1735</td><td>1878</td><td>1938</td><td>1969</td><td>1978</td><td>1977</td><td>1990</td></tr>
<tr><td>説</td><td>二界説</td><td>三界説</td><td>四界説</td><td>五界説</td><td>（分岐分類学）</td><td>六界説</td><td>３ドメイン説</td></tr>
<tr><td rowspan="6">分類群</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="3">原生生物界</td><td rowspan="2">モネラ界</td><td rowspan="2">モネラ界</td><td rowspan="2"></td><td>真正細菌界</td><td>真正細菌</td></tr>
<tr><td>古細菌界</td><td>古細菌</td></tr>
<tr><td>原生生物界</td><td>原生生物界</td><td>（高等藻類、粘菌類・卵菌類）</td><td>原生生物界</td><td rowspan="4">真核生物</td></tr>
<tr><td rowspan="2">植物界</td><td rowspan="2">植物界</td><td>菌界</td><td></td><td>菌界</td></tr>
<tr><td>植物界</td><td>植物界</td><td>（移行）</td><td>植物界</td></tr>
<tr><td>動物界</td><td>動物界</td><td>動物界</td><td>動物界</td><td></td><td>動物界</td></tr>
</table>

実験

どんな生物だろうか？

【目的】 未知の生物の細胞を比較し、生物の共通性と多様性を調べ、分類する。

【試料】 未知の生物３種類（Ａ、Ｂ、Ｃ）の細胞　*（＊今回はイシクラゲ・ワカメ・コカナダモを用いた。）*

【準備】 光学顕微鏡、スライドガラス、カバーガラス、ピンセット、柄付き針、ろ紙、
マイクロメーター（15×40のとき、2.5μm/1目盛とする）、酢酸オルセイン溶液

予想	試料	A（イシクラゲ）	B（ワカメ）	C（コカナダモ）
1	生物名は何だろうか。	のり？　コケ？　藻類　ワカメ？　イシクラゲ	ワカメ	水草？　オオカナダモ　クロモ
2	どのような生物群に属しているだろうか。	植物　コケ　藻類	植物	植物
3	生息場所はどこだろうか。	港の堤防　海　岩場　水たまり　日陰　沼	岩場　海	川　水槽　沼　用水路
観察	これらの生物を知るために、細胞の様子を調べる。（試料の小片をスライドガラスに置き、柄付き針とピンセットでよくほぐす。カバーガラスをかけ、その上から軽く押さえながら左右に動かして広げ、検鏡する。）			
1	細胞の配列のし方			
2	細胞の形			
3	細胞の色	青緑色で球形の細胞		
4	細胞の大きさ（マイクロメーター使用）	長径３～６ μm	長辺60～140μm	長辺82.5～125μm
5	細胞小器官の様子・大きさ	葉緑体は見られない	葉緑体は長径が約３～10μm	葉緑体は長径が約３～10μm
6	酢酸オルセイン液に対する反応	核は見られない	核が見られる	核が見られる
考察	観察結果を基に、次の項目を考える。			
1	これらの生物の共通点は何か。	細胞膜で覆われている。細胞が丸い。		
2	相違点から、どの生物群に属するか。	原核生物界 藍色植物門（シアノバクテリア） 藍藻綱 ネンジュモ目 ネンジュモ科 イシクラゲ	原生生物界 不等毛植物門 褐藻綱 コンブ目 チガイソ科 ワカメ	植物界 被子植物門 単子葉植物綱 トチカガミ目 トチカガミ科 コカナダモ

【まとめ】(　)にあてはまる語句を記入せよ。

試料Ａ（原核生物・イシクラゲ）の細胞は長径（　***３～６***　）µm、試料Ｃ（真核生物・コカナダモ）の葉緑体の大きさは長径（　***３～10***　）µm なので、（　***ほぼ等しい***　）大きさである。

また、

- ・植物の葉緑体には核とは異なる独自の葉緑体ＤＮＡが含まれている。
- ・真核生物の細胞内にある葉緑体は、細胞分裂に同調して自ら分裂して娘細胞に伝えられる。

これらから、真核生物の祖先が単細胞性のシアノバクテリアを取り込み、消化せずに共生させた結果が現在の葉緑体と考えられる。これを（　***細胞内共生説***　）という（1970年 L. Margulis)。

＜葉緑体・ミトコンドリアの由来（細胞共生説）＞

ミトコンドリアは、（　***好気性細菌***　）が、原始的な細胞の内部に入り込んで（　***共生***　）することで生じた。植物の葉緑体は、（　***シアノバクテリア***　）が、原始的な（　***真核生物***　）に（　***共生***　）することで生じたと考えられている。

【発展】課題研究

１．次の事柄について調べ、それらからイシクラゲと生息環境との関係を考察する。

（１）窒素固定

本種は窒素固定を行う異質細胞を有しており、空中窒素固定（$N_2 \rightarrow NH_4^+$）を行っている。窒素固定に必要な酵素ニトロゲナーゼは、酸素があると失活する。異質細胞には酸素発生を伴う反応系が無いことが知られている。

窒素固定能は、原核生物の細菌類とシアノバクテリアに限られている。マメ科の植物は共生細菌の窒素固定による。これらは、窒素固定作用により獲得した NH_4^+ を材料として窒素同化できることから、窒素成分の乏しいやせた土壌などの環境下でも生育できる。

（２）休眠

乾燥したイシクラゲのコロニーにはトレハロースという糖が蓄積しており、細胞外多糖とともに極限的な乾燥耐性に深く関わっていると考えられている。このはたらきにより、乾燥状態で無代謝状態となって生命を維持することで、降雨時と晴天時を繰り返す環境下でも生息できる。

２．光合成細菌とシアノバクテリアの光合成を比較する。特に光合成の結果、グルコース（ブドウ糖）以外で生成されるものに注目する。

シアノバクテリアは緑色植物と同様に酸素発生をともなう光合成を行う。

シアノバクテリアより先に地球に現れた光合成細菌（紅色硫黄細菌など）は酸素を発生せず、硫黄等を蓄積する。

３．シアノバクテリアが地球に現われなかったら、どんな地球になったか考えてみる。

シアノバクテリア類は27億年程度前には地球上に出現した。これは酸素発生をする最初の光合成生物であり、その結果、地球大気の酸素濃度が増加したこと、地層中に鉄鉱石の層が形成されたこと、生物の酸素呼吸が始まったこと、オゾン層が形成され陸上生物が進化したことなど、地球環境と生物の進化に大きな影響を与えた。

シアノバクテリアが地球に現われなかったら、現在の地球環境と生物は存在せず、嫌気的な生物のみが生息することが考えられる。

事例Ⅱ　遺伝情報とＤＮＡ

１．授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
＊１	既習内容の確認 【資料】P. 23～25	遺伝情報を担う物質としてのＤＮＡの特徴、ＤＮＡの情報に基づいて合成されるタンパク質の働きについて理解させる。	○ミクロ（分子レベル）からマクロ（表現型レベル）まで、順に階層を追うことで、学習内容の統合化を図るとともに、取り組む実験がどの内容を確認するものであるかを理解させる。
	実験の目的・操作内容の理解 【資料】P. 26～28	本実験において確かめる学習内容、遺伝子の導入に関する実験操作の目的、注意事項について理解させる。	○ＤＮＡの二重らせん構造と塩基の相補性、遺伝子とゲノムとの関係､転写と翻訳の概要、タンパク質の生命現象における重要性、すべての遺伝子が常に発現しているわけではないことにも触れる。
＊２	実験： 組換え遺伝子の導入による遺伝子発現 【資料】P. 29～30	プラスミドを用いて、大腸菌に LacZ、GFP 遺伝子を導入し、その形質を予想・確認することで、遺伝子の発現の仕組みを理解させる。	○「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（平成15年法律第97号）最終改正：平成19年３月30日法律第８号」に基づいた規則に従い、実験を行う必要がある。学校長の許可、P1レベル#の拡散防止措置、実験室の掲示、衛生面での準備、試料の取り扱い（培養設備・加熱殺菌廃棄など）について配慮する。
※３	結果のまとめと考察 【資料】P. 31～32	予想と結果の比較をさせ、遺伝情報の発現の仕組みを理解させる。	○生徒の衛生面での配慮、試料の加熱殺菌廃棄に留意する。

＊実験の所要時間を考慮すると、２時限連続展開が望ましい。

※試料を24時間以上培養して、直径１mm以上のコロニーが形成されてから結果を確認する。

なお、中学校理科第２分野では、**(5) 生命の連続性** で、
- 遺伝子の本体がＤＮＡであること
- 遺伝子に変化が起きて形質が変化することがあること
- 体細胞分裂の過程で染色体が複製されること

について学習している。

P1レベル：拡散防止措置の内容

	施設等について満たすべき事項
1	実験室が、通常の生物の実験室としての構造及び設備を有すること。

	遺伝子組換え実験の実施に当たり遵守すべき事項
1	遺伝子組換え生物等を含む廃棄物（廃液を含む。）については、廃棄の前に遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講ずること。
2	遺伝子組換え生物等が付着した設備、機器及び器具については、廃棄又は再使用（あらかじめ洗浄を行う場合にあっては、当該洗浄）の前に遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講ずること。

3	実験台については、実験を行った日における実験の終了後、及び遺伝子組換え生物等が付着したときは直ちに、遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講ずること。
4	実験室の扉については、閉じておくこと（実験室に出入りするときを除く）。
5	実験室の窓等については、昆虫等の侵入を防ぐため、閉じておく等の必要な措置を講ずること。
6	すべての操作において、エアロゾルの発生を最小限にとどめること。
7	実験室以外の場所で遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講じようとするときなど、実験の過程において遺伝子組換え生物等を実験室から持ち出すときは、遺伝子組換え生物等の漏出や、拡散が起こらない構造の容器に入れること。
8	遺伝子組換え生物等が付着し、又は感染することを防止するため、遺伝子組換え生物等の取扱い後における手洗い等必要な措置を講ずること。
9	実験の内容を知らない者が、みだりに実験室に立ち入らないための措置を講ずること。

２．教材試料について

本実験では、「遺伝子組換え実験キット　Standard Version」（島津理化社製）を用いた。１キット当たり、５セット（１班４名で20名分）入りで、￥14,800であった。

本キットで使用する宿主（大腸菌：*E. coli* JM109）は、毒性がなく自然環境下での生存能力も低い *E. coli* K12株由来である。また、遺伝子を導入するベクターはプラスミドで、タンパク質をコードする遺伝子として、Green Fluorescent Protein（GFP）・Galactosidase の２種類が含まれている。なお、これらには、抗生物質耐性をコードする遺伝子として ampicillin 耐性遺伝子が含まれている。

３．単元の学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価規準	○遺伝情報とＤＮＡ、タンパク質の合成について関心をもち、意欲的にそれらを探究しようとする。	○ＤＮＡの構造が遺伝情報を担い得る特徴をもつこと、及びＤＮＡの塩基配列からｍＲＮＡの塩基配列、アミノ酸へという情報の流れについて探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを表現している。 ○予想や結果、導き出した考えを文章やスケッチで的確に表現している。	○遺伝情報とＤＮＡ、タンパク質の合成についての実験を行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。 ○微生物の培養に関する基本操作を習得するとともに、事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。	○遺伝情報を担う物質としてのＤＮＡの特徴について理解し、知識を身に付けている。 ○ＤＮＡの情報に基づいてタンパク質が合成されることを理解し、知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

４．参考資料

・「遺伝子組換え実験キット　Standard Version」取扱説明書　　島津理化社

・「生命倫理・安全に対する取組」

　文部科学省　ライフサイエンスの広場　http://www. lifescience. mext. go. jp/bioethics/index. html

　拡散防止措置チェックリスト　http://www. lifescience. mext. go. jp/bioethics/kakusan. html

・ラクトースオペロン　http://ja. wikipedia. org/wiki/%E3%83%A9%E3%82%AF%E3%83%88%E3%83%BC%E3%82%B9%E3%82%AA%E3%83%9A%E3%83%AD%E3%83%B3

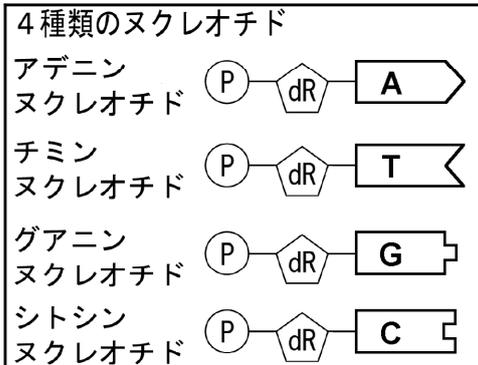
学習内容の確認シート

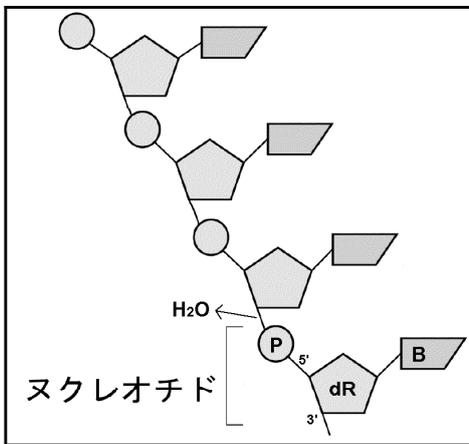
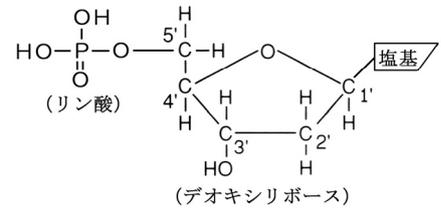
DNA～遺伝子～タンパク質～表現型

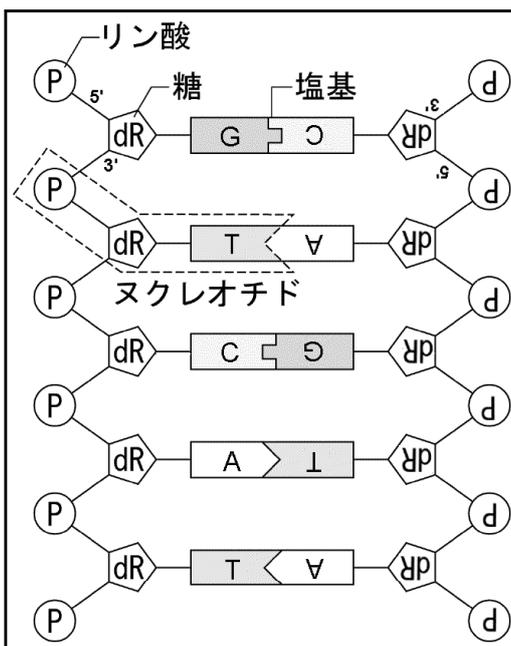
Ⅰ．DNAの基本ユニット：ヌクレオチド

Ｐ：〔　*リン酸*　〕
ｄＲ：〔　*デオキシリボース*　〕
Ｂ：〔　*塩基*　〕

４種類のヌクレオチド

アデニンヌクレオチド　P—dR—A
チミンヌクレオチド　P—dR—T
グアニンヌクレオチド　P—dR—G
シトシンヌクレオチド　P—dR—C

Ｂ（塩基）→
Ａ：〔　*アデニン*　〕
Ｔ：〔　*チミン*　〕
Ｇ：〔　*グアニン*　〕
Ｃ：〔　*シトシン*　〕

Ⅱ．ヌクレオチド鎖の形成

一つのヌクレオチドのリン酸と、別のヌクレオチドのデオキシリボースの３'末端との間で脱水縮合反応（共有結合による付加反応）が起き、それが多数連なることで一本鎖が形成される。

４種類の塩基の配列が、遺伝暗号としての情報を持っている。

Ⅲ．二重鎖の形成

（鋳型鎖）　（コーディング鎖）

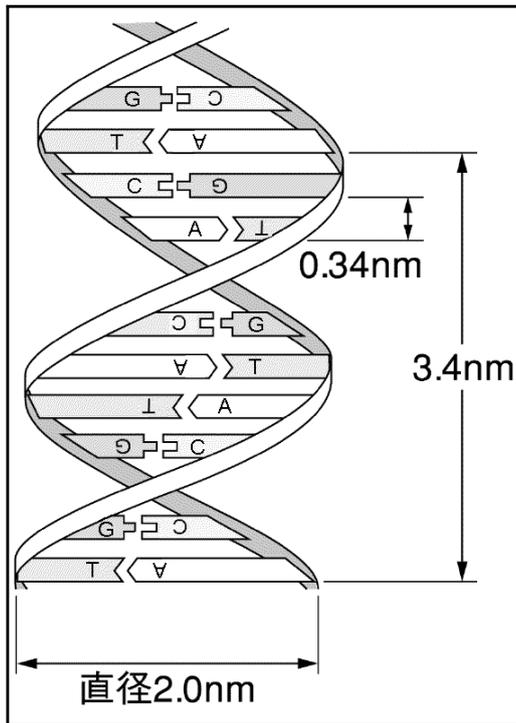
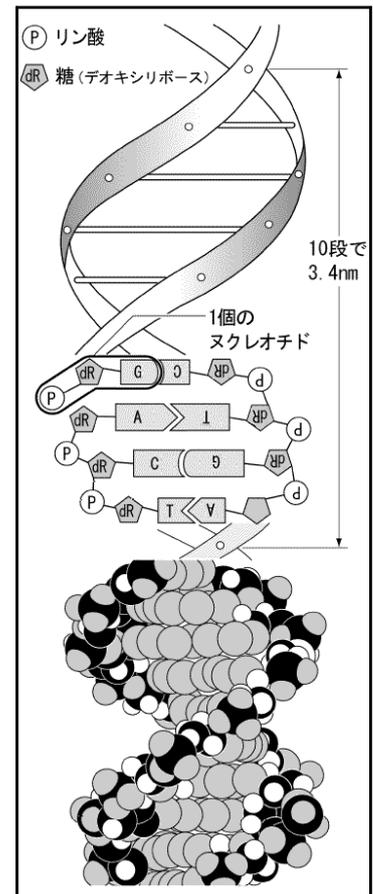
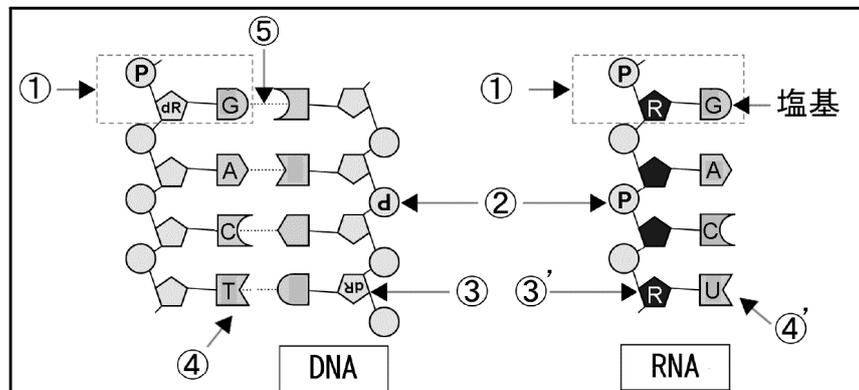
２本のヌクレオチド鎖が、塩基同士で向かい合い、弱い〔　***水素結合***　〕によりつながっている。

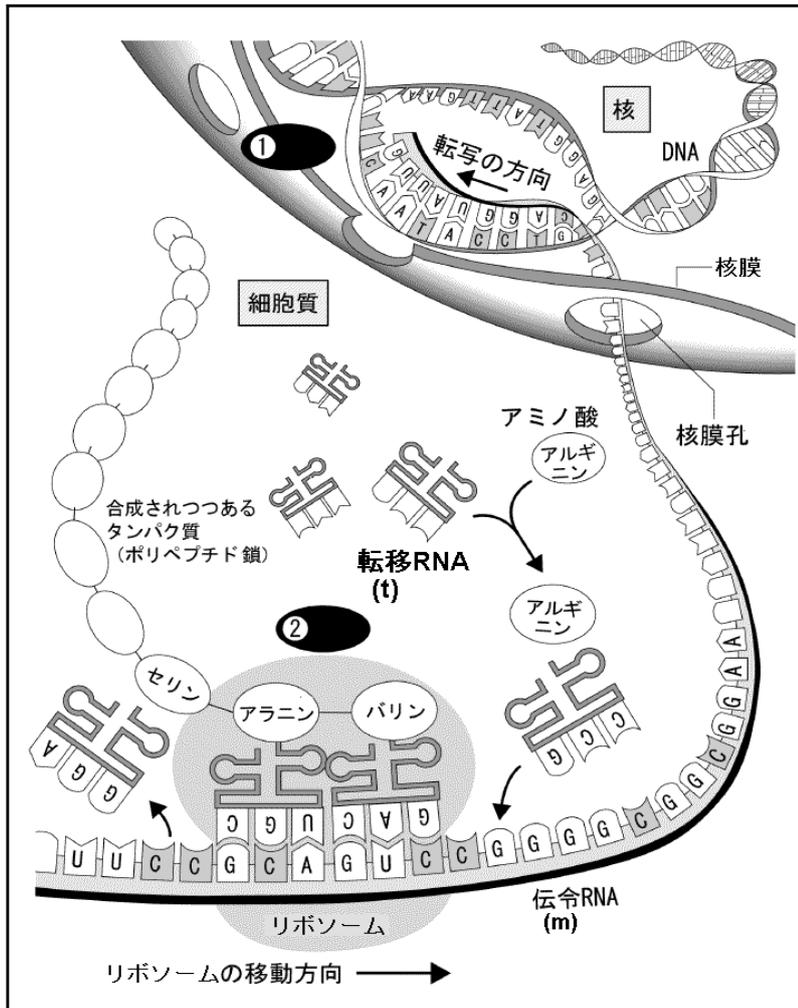
塩基同士は特定の組み合わせのみで結合している。

Ａ＝〔　***T***　〕　Ｇ≡〔　***C***　〕
Ｃ≡〔　***G***　〕　Ｔ＝〔　***A***　〕

遺伝暗号としての情報を持っているＤＮＡ鎖を鋳型鎖（アンチセンス鎖）、もう一方のＤＮＡ鎖をコーディング鎖（センス鎖）という。

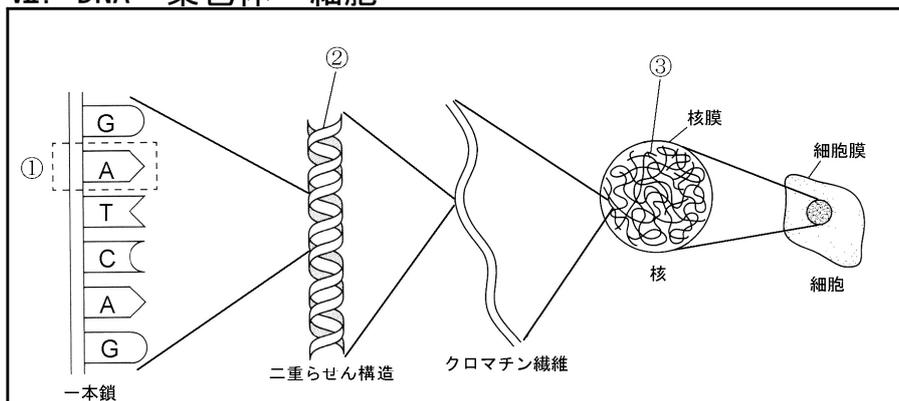
Ⅳ．二重らせんの形成

２本鎖が右ねじの向きにねじれて、立体的に安定的な構造をつくる。10塩基対で１回転する（１ピッチ)。

実習→モデルを作製して、
構造を立体的に理解する。

Ⅴ．DNAとRNAの分子の比較

		DNA	RNA
共通点	基本ユニット	①：〔 ***ヌクレオチド*** 〕	
	Ｐ	②：〔 ***リン酸*** 〕	
	ヌクレオチド鎖の形成	〔 ***脱水縮合*** 〕反応	
相違点	糖	③：〔 ***デオキシリボース*** 〕	③'：〔 ***リボース*** 〕
	塩基	④：〔 ***チミン*** 〕	④'：〔 ***ウラシル*** 〕
	ヌクレオチド鎖の構造	〔 ***二重らせん構造*** 〕	〔 ***一本鎖*** 〕
		⑤：〔 ***水素結合*** 〕	

Ⅵ．遺伝子のはたらき

【セントラルドグマ】

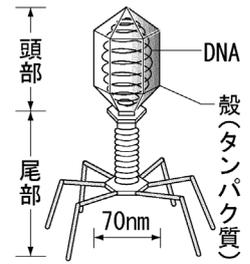
ＤＮＡの〔　***塩基配列***　〕
遺伝情報
↓　①：〔　***転写***　〕
ｍＲＮＡの塩基配列
三組暗号（トリプレット）
アミノ酸指定（コドン）
↓
ｔＲＮＡの塩基配列
（アンチコドン）
＋
指定されたアミノ酸を運搬
↓　②：〔　***翻訳***　〕
リボソーム内でアミノ酸が
ペプチド結合
↓
タンパク質の独自の立体構造を形成
↓
生成されたタンパク質がもつ機能が
働く　　　　〔　***発現***　〕

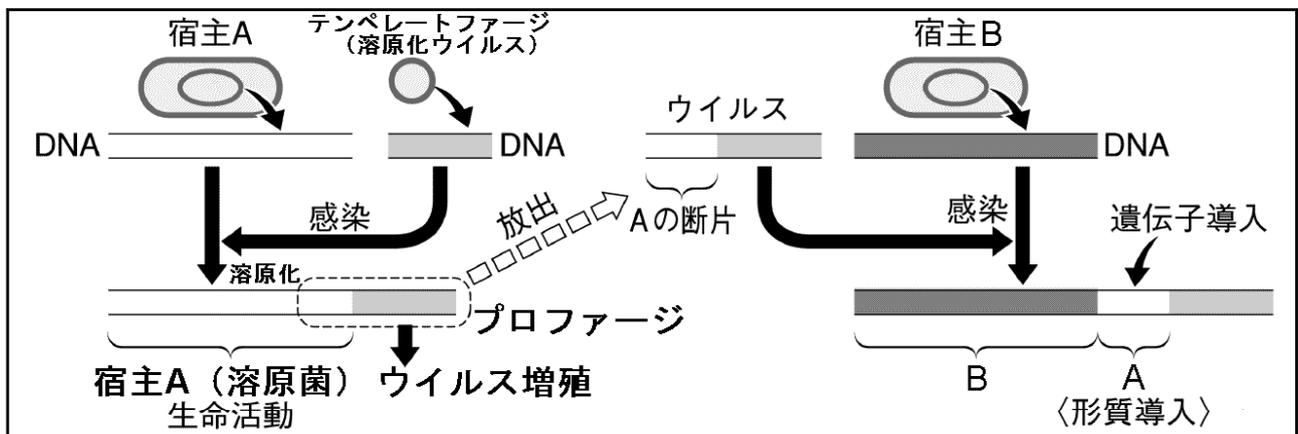
実験→ユスリカの唾腺染色体を検鏡し、パフの形成（転写）の様子を観察する。

Ⅶ．DNA～染色体～細胞

実験→細胞からＤＮＡを抽出する過程における操作の意味を、構造や成分の性質と関連させて理解する。

①：〔　***ヌクレオチド***　〕
②：〔　***ＤＮＡ***　〕･･･リン酸が－に帯電している。　［→15％食塩水で塩析→エタノールに不溶］
クロマチン繊維･･･ＤＮＡ分子がヒストン（タンパク質）に巻き付き、さらに折りたたまれて形成された構造物　［→タンパク質分解酵素（0.3％トリプシン水溶液）で分解処理］
③：〔　***染色体***　〕･･･クロマチン繊維が、ループ状・コイル状に折りたたまれて凝集した構造物
核膜・細胞膜･･･主にリン脂質とタンパク質によって形成されている生体膜　［→界面活性剤で破壊］

Ⅷ．遺伝子組換え

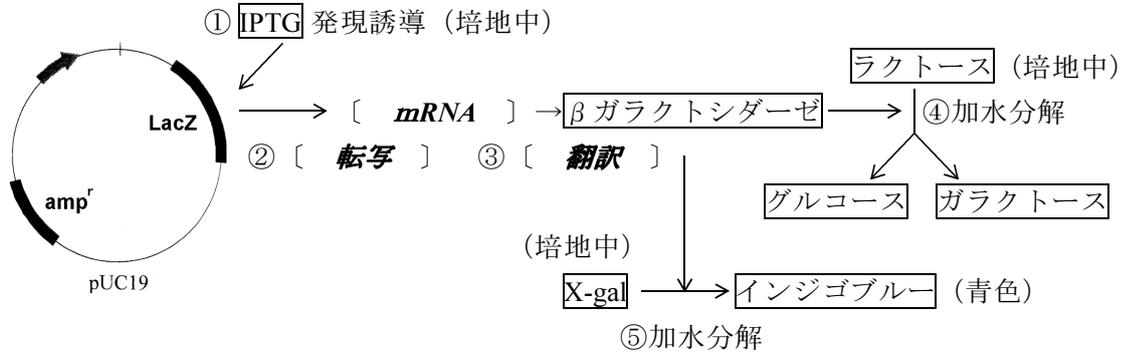
バクテリオファージ bacteriophage：細菌に感染するウイルスの総称。タンパク質の外殻に遺伝情報を担う核酸（主に二本鎖ＤＮＡ）を持っている。バクテリオファージ（＝以降、ファージという）が感染し増殖すると、細菌は溶菌という現象を起こして死ぬ。この現象によってまるで細菌が食べ尽くされるかのように消えてしまうため、これにちなんで「細菌（bacteria）を食べるもの（phagos：ギリシア語)」を表す名が付けられた。自らは遺伝子しか持たず、宿主細胞の形質発現の機構を使って増殖する。このウイルスと放射性同位体（^{35}S または^{32}P）を用いて遺伝物質がＤＮＡであることを示した A. D. Hershey と M. Chase の実験（1952年）が、遺伝子の本体がＤＮＡであることを初めて証明した。

テンペレートファージ（temperate：穏健な）の場合、感染しても一部の細菌を除いて増殖が起こらず、部分的にしか溶菌を起こさない。このとき、ファージの増殖が起こらない細菌の内部では、ファージはゲノムＤＮＡとして（プロファージと呼ばれる）安定した状態で保存されており、細菌が分裂する際も子孫に伝達されていく。この現象は〔　***溶原化***　〕と呼ばれ、プロファージを保有する細菌を溶原菌と呼ぶ。プロファージのゲノムは溶原菌のゲノムに組み込まれたり、あるいはプラスミドとして宿主のゲノムとは独立して細胞内に存在する。テンペレートファージの例としては、大腸菌に感染するラムダファージがよく知られ研究されている。

テンペレートファージを利用して宿主の細菌に任意の遺伝子を導入する技術も開発された。この技術は形質導入と呼ばれ、ラムダファージによる大腸菌への形質導入が、分子生物学分野で繁用されている。

プラスミド plasmid：細胞内で複製され、娘細胞に分配される染色体以外のＤＮＡ分子の総称。細菌や酵母の細胞質内に存在し、染色体のＤＮＡとは独立して自律的に複製を行う。一般に環状２本鎖構造をとる。遺伝子工学分野においては、遺伝子組換えの際に多く用いられる。様々な改変がなされた数kbp＊のプラスミドが多く作られており、研究用キットとして市販されている。

大腸菌を用いた遺伝子クローニングでは、まずプラスミドを取り出し、次いで制限酵素で切断し、切断部位に増幅しようとするＤＮＡ断片(プラスミドと同じ制限酵素で切り出したもの)をＤＮＡリガーゼで結合させる。この組換えプラスミドを大腸菌に導入し、大腸菌の大量培養により組み換えＤＮＡを増幅する。

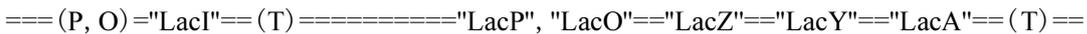
＊ kbp：ＤＮＡの長さの単位。二本鎖の場合 bp（＝ base pair[塩基対]）で表す（1kbp=1000bp)。

● 本実験（組換え遺伝子導入による遺伝情報の発現）で取り扱う領域の確認

LacZ遺伝子（約３kbp）：発現により、培地中のラクトースを分解する酵素βガラクトシダーゼを生成する。培地中に X-gal（5-bromo-4-chloro-3-indolyl-beta-D-galactoside）があると、青色に発色することで、発現を確認できる。

① IPTG 発現誘導について

<大腸菌のラクトースオペロン>

大腸菌においては、LacI（リプレッサーの構造遺伝子）に続いて、調節領域である LacP（プロモーター配列）、LacO（オペレーター配列）の二つと、構造遺伝子領域である LacZ、LacY、LacA の三つが並んでいる。

===(P, O)="LacI"==(T)=========="LacP", "LacO"=="LacZ"=="LacY"=="LacA"==(T)==

LacI は常時発現しており、一定の速度でリプレッサータンパク質を生産している。このリプレッサータンパク質は、ＤＮＡ上の Lac オペレーターとの親和性が高く、通常この領域を認識して結合している。リプレッサーがオペレーターに結合した状態にあるときは、ＲＮＡポリメラーゼのプロモーター領域への結合が阻害され、以降に続く LacZ、LacY、LacA の構造遺伝子のｍＲＮＡへの転写が抑制されている。

リプレッサー ------------------------↓

↑

===(P, O)="LacI"==(T)=========="LacP", "LacO"=="LacZ"=="LacY"=="LacA"==(T)==

×

↑

（RNA pol）…転写が抑制される。

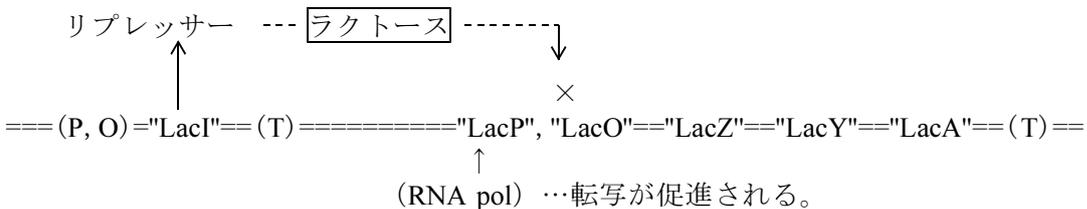
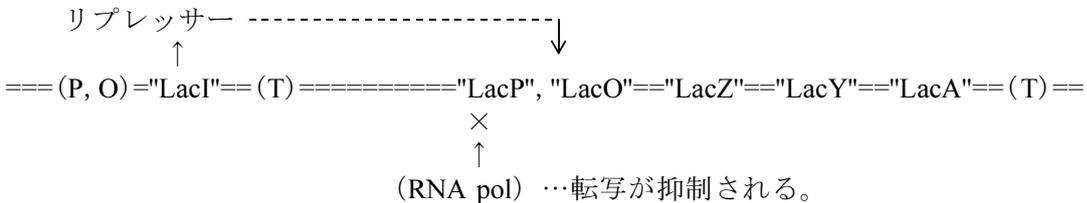
リプレッサー --- ラクトース -------↓

↑

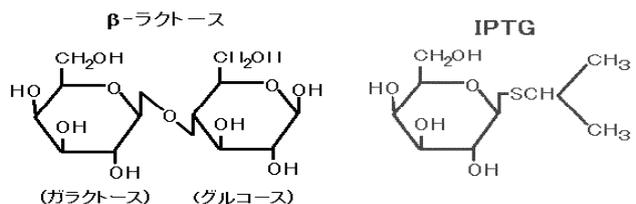
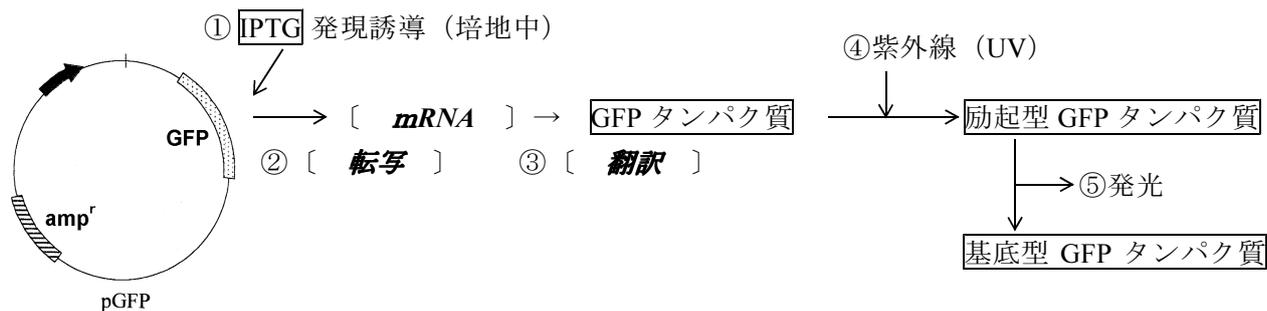
×

===(P, O)="LacI"==(T)=========="LacP", "LacO"=="LacZ"=="LacY"=="LacA"==(T)==

↑

（RNA pol）…転写が促進される。

リプレッサータンパク質は、アロラクトース（細胞内でラクトースが異性化したもの）などの誘導物質と結合すると高次構造が変化し、不活性型となってオペレーターから解離する（あるいは結合できなくなる）。リプレッサータンパク質がオペレーターから解離すると、ＲＮＡポリメラーゼによる LacZ、LacY、LacA の構造遺伝子のｍＲＮＡへの転写が可能になる。こうした調節因子（今回は LacI）の働きを変える因子（本実験では IPTG）をインデューサーという。

β-ラクトース　（ガラクトース）（グルコース）

IPTG

GFP遺伝子：発現により緑色蛍光タンパク質*を生成する。紫外線照射により蛍光を発することで、発現を確認できる。

＊緑色蛍光タンパク質（Green Fluorescent Protein, GFP）

オワンクラゲ（*Aequorea victoria*）がもつ分子量約27kDa※の蛍光タンパク質である。1960年代に下村 脩によって、カルシウムイオンで発光するタンパク質イクオリンとその光を受けて緑色に光るGFPが発見・分離精製された。

GFPは励起光を当てると単体でも発光する。下村によるその発見から30余年を経た1990年代、GFP 遺伝子の同定・クローニングに成功し、M. Chalfie、R. Y. Tsien らのグループが、異種細胞へのGFP遺伝子導入・発現に成功した（2008年に、下村、M. Chalfie 及び R. Y. Tsien はノーベル化学賞を共同受賞）。

GFP の発色は基質を必要としないことや単体で機能するなどの特徴から、また、発色団形成に酵素反応が必要でないこと、異種細胞への発現方法が確立したことなどから1990年代にレポーター遺伝子として広く普及した。

アンピシリン（Ampicillin）：細菌類の細胞壁合成阻害剤。細菌類の細胞壁成分であるペプチドグリカンの架橋合成が阻害される。（動物細胞や植物細胞にはもともとペプチドグリカン層がないためアンピシリンは作用しない。）架橋形成の阻害自体は細菌にとって毒性がないが、ペプチドグリカンの架橋阻害により細胞増殖の度にペプチドグリカンが薄くなる。そのため、細胞壁による細胞の機械的強度が低くなり、細胞外液が薄い場合、浸透圧によって水が細胞内に流れ込み、溶菌が起きる。結果として数回分裂すると細菌は死ぬことになる。

アンピシリン耐性遺伝子（amp^r）はβ－ラクタマーゼという酵素をコードしているマーカー遺伝子。この酵素を持つ細菌はアンピシリンを加水分解できるため、アンピシリンを含んだ培地でも生育が可能となる。

一般に形質転換を行う際には、目的の遺伝子とアンピシリン耐性遺伝子を含んだプラスミドを大腸菌へ入れる。プラスミドが入らなかった大腸菌はアンピシリンによって死ぬため、プラスミドが入った大腸菌、すなわち目的の遺伝子が入った大腸菌のみが選択できる。

※Da：統一原子質量単位（dalton、記号 Da）

微小な質量を表す単位で、静止して基底状態にある自由な炭素12（^{12}C）原子の質量の1/12と定義されている（１kDa＝1000Da）。質量を統一原子質量単位で表した数値は、その分子からなる純物質１mol（アボガドロ定数個の分子）の質量をグラムで表した数値に等しい。

実験

組換え遺伝子の導入による遺伝情報の発現

【目的】大腸菌に、外界から遺伝子を導入し、遺伝子が働く仕組みについて理解する。

【材料】病原性のない安全な大腸菌（*E. coli* JM109株）、遺伝子組換え実験キット

【用語の確認】

形質転換：外来DNAが微生物等によって取り込まれて（　***遺伝子の組換え***　）や細胞の（　***表現型***　）の変化を起こす遺伝現象。

amp：アンピシリンの略。大腸菌を殺す（　***抗生物質***　）。

プラスミド：多くの細菌に寄生する（　***染色体外遺伝子***　）。２本鎖の（　***環状DNA***　）分子。

・本実験で、プラスミドに導入した遺伝子は、アンピシリン耐性遺伝子および蛍光タンパク質（GFP）遺伝子またはβガラクトシダーゼ（LacZ）遺伝子である。

IPTG＊：GFP遺伝子、LacZ遺伝子の（　***発現***　）を調節する物質。

＊イソプロピル-β-チオガラクトピラノシド（Isopropyl β-D-1-thiogalactopyranoside）は、ラクトースオペロンの転写を誘導する。ラクトースリプレッサーに結合してその働きを阻害し、ラクトースを分解するβ-ガラクトシダーゼの発現を誘導する。クローニング（遺伝子の増殖）においては、LacZ遺伝子の部分に目的の遺伝子が導入され、IPTGはその遺伝子の発現を誘導することになる。

X-gal：βガラクトシダーゼにより分解され、（　***青***　）色を示す物質。

【方法】

〈前日の準備〉

（１）ループを使用して大腸菌プレートからコロニーを一つ釣菌し、スタータープレート２枚に画線した（→写真）。プレートの蓋が下になるように37℃のインキュベータ内に１日間静置し、直径１ mmのコロニーが生育するまで大腸菌を培養する。本実験には増殖中の大腸菌を使用する。

（２）IPTG（赤キャップ）とX-gal（青キャップ）は、それぞれ溶解液を粉末が入ったチューブへ全量加え、撹拌して溶解する。実験当日まで４℃で保存しておく。

《当日の実験》　◎班員で協力して、すべての操作はできるだけ素早く行う。

→考察１～考察７で、各実験操作にはどのような意味があるのか、【結果と考察】で考えてみよう。

（１）チューブ２本（ピンク・白）（カルシウムイオンを含む形質転換用溶液250μL入）をチューブラックに挿し、氷上に置く。→考察１

（２）大腸菌を、プレートからそれぞれ新しいループを使用して直径１ mmのコロニーを力をいれすぎないようにして釣菌し、両方のチューブにそれぞれ加える。大腸菌が細かく分散するように、よく溶液と混ぜる。→考察２

【参考】・本実験では、「遺伝子組み換え実験キット　Standard Version」（島津理化社製）を用いた。

（３）氷上に５分間静置する。→考察３

（４）組換えを起こすチューブ（ピンクだけ）にプラスミド溶液50μLを、よく振り落してから新しいピペットを使用して全量加えて混ぜる。

（５）チューブ（ピンク・白）をチューブラックに挿した状態で、氷上に10分間静置する。→考察４

（６）チューブ（ピンク・白）を42℃に設定したお湯に１分間浸し、直ちに氷上に戻して２分間静置する。チューブラックに挿した状態で操作する。この操作をヒートショックという。→考察５

※ここでの一連の操作（冷やす・温める・冷やす）はできるだけ素早く行う。

（７）SOC培地（緑色キャップ）を新しいピペットを使用して、260μL（130μL×２回）ずつ両方のチューブに加えて混ぜる。→考察６

※ピペットの先端に大腸菌溶液がつかないように注意する。

（８）37℃のインキュベーターで10分間静置する。→考察７

（９）ＬＢ/ampプレート１枚（プレート④）に、X-gal（青キャップ）とIPTG（赤キャップ）をそれぞれ65μLずつ加え、コンラージ棒を使用して培地全体に広げる。

（10）新しいピペットを使用して、下記のようにそれぞれの大腸菌混合液をそれぞれ①～④のプレートへ130μLずつ植菌する。

白チューブ：組換えなし	ピンクチューブ：組換え「**あり**」
①　ＬＢプレート	③　ＬＢ/ampプレート
②　ＬＢ/ampプレート	④　ＬＢ/ampプレート（X-galとIPTGを加えた）

※間違えないように、蓋にマジックで、名称（①～④）等を記しておく。

大腸菌がチューブの底に沈んでいるので、よく混ぜてからピペットで計り取る。

（11）それぞれ新しいコンラージ棒を使用して、プレート全体に大腸菌混合液を広げる。強くやりすぎると培地が壊れてしまうので注意する。

（12）プレートを逆さまにして、37℃のインキュベーターで24時間以上静置して培養する。直径１ mm以上のコロニーが生育するまで大腸菌を培養する。

【結果と考察】

Ⅰ．（１）～（８）の各操作にはどのような意味があるのか、空欄に適する語を入れよ。

考察１：低温下の組換え操作で、大腸菌の形質転換反応を（　***安定的***　）に起こさせるため。

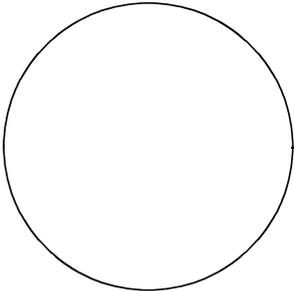
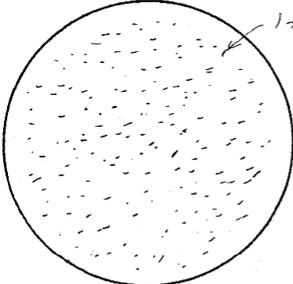
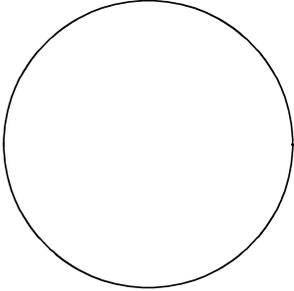
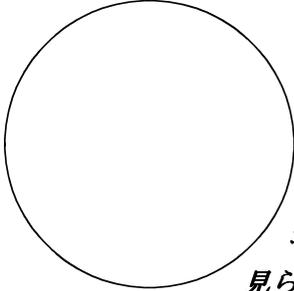
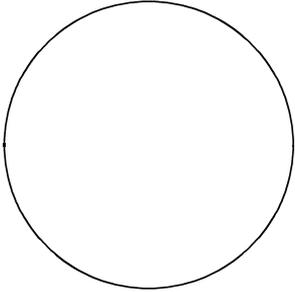
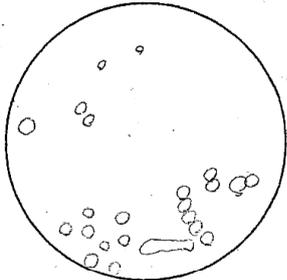
考察２：大腸菌を細かく分散し、（４）で加えるプラスミドとの（　***接触率***　）を高める。

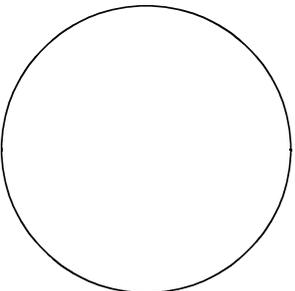
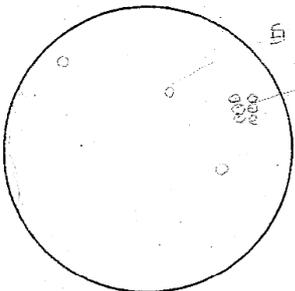
考察３と４：大腸菌の細胞膜（負の電荷）をカルシウムイオン（正の電荷）によって（　***中和***　）させる。（４）で加えるプラスミド（負の電荷）と細胞膜との（　***反発力***　）を弱め、大腸菌がプラスミドを取り込みやすくする。

考察５：温度の変化が（　***急激***　）なほど、大腸菌がプラスミドを取り込みやすくなる。（　***形質転換の効率が上がる***　）。

考察６：SOC培地はヒートショックによって細胞膜などにダメージを受けた大腸菌を（　***回復・安定化***　）させる。

考察７：大腸菌に導入されたアンピシリン耐性遺伝子が（　***発現***　）し始め、アンピシリン入り培地でも大腸菌が（　***生育***　）できるようにさせる。

Ⅱ．（10）の各プレートの〔予想〕と【結果】を図示し、各項目を記入せよ。

①　アンピシリン（－）、プラスミド（－）	
〔予想〕 コロニーの 様子	【結果】 コロニーの 様子 1つのコロニー
・大腸菌のコロニーの色や数は？ ***白い*** ***増える***	・大腸菌のコロニーの色や数は？ ***抗生物質を添加していないので、多くの大腸菌が生育した。***
・UV を照射した時の変化は？ ***光らない***	・UV を照射した時の変化は？ ***蛍光タンパク質は、発現していないので、光らない。→遺伝子が組換えしていないため。***
・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ ***変化なし***	・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ ***βガラクトシダーゼは発現していないので、コロニーは白い。→組換えしていないため。***

②　アンピシリン（＋）、プラスミド（－）	
〔予想〕 コロニーの 様子	【結果】 コロニーの 様子 ***コロニーは*** ***見られなかった。***
・大腸菌のコロニーの色や数は？ ***白い*** ***少ない、減っている***	・大腸菌のコロニーの色や数は？ ***抗生物質耐性がないので、大腸菌の生育が阻害される。→遺伝子が組換えしていないため。***
・UV を照射した時の変化は？ ***光らない***	・UV を照射した時の変化は？ ***光らない。***
・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ ***変化しない***	・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ ***色は変化しない。***

③　アンピシリン（＋）、プラスミド（＋）	
〔予想〕 コロニーの 様子	【結果】 コロニーの 様子
・大腸菌のコロニーの色や数は？ ***白い、黄色い*** ***増える***	・大腸菌のコロニーの色や数は？ ***抗生物質耐性をもち、大腸菌が生育できる。*** ***→遺伝子が組換えしているため。***
・UV を照射した時の変化は？ ***青い*** ***光らない***	・UV を照射した時の変化は？ ***IPTG が無いため、GFP 遺伝子はあるが、光らない。***
・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ ***変化なし***	・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ ***IPTG が無いため、LacZ 遺伝子はあるが、色は変化しない。***

④　アンピシリン（＋）、プラスミド（＋）、IPTG（＋）、X-gal（＋）	
〔予想〕 コロニーの 様子	【結果】 コロニーの 様子
・大腸菌のコロニーの色や数は？ ***黄色い、青い*** ***多い***	・大腸菌のコロニーの色や数は？ ***青または白のコロニーがいくつか生育した。*** ***→遺伝子が組換えしているため。***
・UV を照射した時の変化は？ ***青い、緑色*** ***光る***	・UV を照射した時の変化は？ ***IPTG があるため、GFP 遺伝子が発現して黄緑色に光る。***
・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ ***青い***	・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ ***IPTG があるため、LacZ 遺伝子が発現して X-gal が分解され青く発色する。***

（２）生物の体内環境の維持

１．学習指導要領での位置付け

生物の体内環境の維持について観察，実験などを通して探究し，生物には体内環境を維持する仕組みがあることを理解させ，体内環境の維持と健康との関係について認識させる。

ア 生物の体内環境

(ｱ) 体内環境 →事例Ⅲ

体内環境が保たれていることを理解すること。

(ｲ) 体内環境の維持の仕組み →事例Ⅳ

体内環境の維持に自律神経とホルモンがかかわっていることを理解すること。

(ｳ) 免疫

免疫とそれにかかわる細胞の働きについて理解すること。

（内容の取扱い）

(ｱ)については，体液の成分とその濃度調節を扱うこと。また，血液凝固にも触れること。

(ｲ)については，血糖濃度の調節機構を取り上げること。その際，身近な疾患の例（インスリンの分泌不足により糖尿病が発症することなど）にも触れること。

(ｳ)については，身近な疾患の例にも触れること。

イ 生物の体内環境の維持に関する探究活動

生物の体内環境の維持に関する探究活動を行い，学習内容の理解を深めるとともに，生物学的に探究する能力を高めること。

なお、中学校理科第２分野では、**(3) 動物の生活と生物の変遷** で、

- 循環系とその働き
- 血液の成分とその働き
- 腎臓と肝臓の働きについての概要（不要となった物質を排出する仕組みがあること）
- 神経系の働き（外界からの刺激が受け入れられ、神経系を介して反応が起こること）

について学習している。

２．学習評価について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価規準	生物の体内環境の維持に関する事象について関心をもち、意欲的に探究しようとするとともに、科学的な見方や考え方を身に付けている。	生物の体内環境の維持に関する事象の中に問題を見いだし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	生物の体内環境の維持に関する事象について、観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、科学的に探究する技能を身に付けている。	生物の体内環境の維持に関する事象について、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

３．本単元における事例

事例Ⅲ：腎臓の働き

生物の体内環境が保たれていることを理解させる例として、腎臓の働きによって体液中の塩類などの濃度が保たれることを取り上げる。

まず、日常生活で見られる例として、家庭用浄水器の構造を提示し、浄水の仕組みと構造上の課題を考察させる。これと腎臓の塩類濃度調節の仕組みを対比させることで、腎臓の構造の巧妙さに気付かせる。

次に、体験に基づく知識の総合化を目的に、腎臓を実際に解剖し、その構造を理解させるとともに、ミクロのレベルでの血液ろ過の仕組みを観察させる。試料としては、人とほぼ同じ大きさ・形・構造をもち、入手の容易なブタの腎臓を用いる。なお、生命尊重の態度を育てること及び本単元の目標に迫るため、以下のような方策を取る必要がある。

・学習指導計画に指導の内容及び安全への配慮事項を明記し、管理職の承認を得る。
・事前に保護者に対し、指導の目標や内容、期待できる効果などを具体的に説明し、同意を得るような配慮をする。
・解剖に対する嫌悪感などの反応が強く、生命倫理の面で問題があるという考えも多いので、本単元の学習で生徒にどんな力をつけさせたいのか、生徒の実態をもとに説明し、学習計画（シラバス）を示しながら生徒・保護者の了解を得る。
・事前に、生徒に解剖実習の意義・目的を十分理解させ、無益な殺生にはならないよう指導する。
・衛生面での不安を払拭するため、衛生用品を準備し、場に合わせた身支度や手洗いの励行、机上の整理等について事前指導を徹底させ、実習中も絶えずチェックする。
・授業当日は、実習を無理強いしないこと、参加できない生徒には別室を開放して別の学習課題を用意するなどの対応を取る。

参考文献：「生物教育における生命尊重についての指導観と指導法に関する調査研究」
平成20年３月国立教育政策研究所

事例Ⅳ：体内環境の維持の仕組み

動物の体液の濃度が自律神経系とホルモンの作用により調節されている仕組みを理解させることをねらいとし、血中酸素濃度が、自律神経の働きやホルモンの作用により一定の範囲に保たれていることを取り上げる。

入手や飼育、観察が容易なメダカを試料とし、外界からの刺激に対して反応が変化する様子を観察し、その仕組みを考察することで、理解を深めさせる。

事例Ⅲ　腎臓の働き

1．授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
＊1	思考学習： 浄水器の構造と機能 【資料】 P. 37～38	単元の導入として、浸透・透析の原理を確認させ、その応用としての浄水の仕組みを学習する。これにより、溶液中の成分を分離する仕組みを理解させるとともにその問題点を考察させ、腎臓の構造と機能の巧妙さに気付かせる。さらに、次の実験の目的を明確にして、腎臓の構造と機能への関心を高める。	「生物基礎」では、浸透現象、細胞膜の性質などについて詳細には学んでいない。浸透現象に関する身近な例を取り上げ、分子・細胞レベルでの現象に関心を向ける。
＊2	解剖実験： 腎臓の構造と機能 【資料】 P. 39～41	ヒトとほぼ同じ大きさ・形・構造をもち、入手の容易なブタの腎臓を用いて、実際に解剖させ、その構造を理解させるとともに、ミクロのレベルでの血液ろ過の仕組みを観察させる。	生命尊重の態度を育て、単元の目標を達成するため、生徒への事前指導、職員・保護者の理解と協力を得るよう配慮する。
3	思考学習： 腎臓の尿生成 【資料】 P. 42～44	実験データの読み取りと活用により、腎臓の働きによって体液中の塩類などの濃度が保たれる仕組みの素晴らしさを理解させ、自分の生命・健康の大切さに目を向けさせる。	学習順序について、自律神経系やホルモンによる調節の学習が、腎臓の単元の後の場合、それらの学習後のまとめとして取り上げる。

＊１～２時限は、思考・観察に要する時間を考慮すると、連続授業が望ましい。

2．教材試料について

（１）ブタの腎臓は、食肉店あるいは食肉衛生検査所（食肉市場）から入手できる（１個40～100円程度）。（食肉店では、「豚まめ」といい、野菜炒め・煮物・串焼き用の食材として扱っている。）食肉店では入荷数に限りがあるので、多数を発注する場合は、実習予定日時を考慮し、数週間前から確保を依頼しておく（冷凍庫で長期保存が可能）。解体の際に傷などがつきやすいので、解剖実習に用いることを前提に、腎臓本体になるべくメスの入っていない、輸尿管や腎動脈、腎静脈がついているものを依頼する。なお、教材関連会社から購入することも可能である（１個800円程度＋冷蔵宅配料）。

（２）腎臓で血液をろ過した原尿は１日当たり約180L にもなる。その生成量を実験結果から計算上得ただけでは実感がわきにくいので、その体積を視覚的に現すモデルを提示するとよい（ドラム缶１本分、灯油缶10本分といった例示もできる）。本事例では、２L の PET ボトル３×５本（30L 分）を布テープでまとめ、これを３セットで腎臓１個分の原尿量（90L 分）とし、６セットで１日の原尿量（180L）とした（→右図）。作製に当たっては、２L の PET ボトルの収集を生徒に呼びかけることで、必要数の多さからも腎臓の働きのすごさを実感させられる。

１日の原尿量モデル

３．単元の学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価規準	○日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象について関心をもち、意欲的に探究しようとする。 ○体内環境の維持の仕組みについて関心をもち、意欲的に探究しようとする。	○日常生活の中に問題を見いだし、生物の体内環境が保たれていることを探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ○予想や結果を文章やスケッチで的確に記述している。 ○得られたデータから論理的に思考し、考察した内容を論述している。	○腎臓の働きについての観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。 ○顕微鏡での観察に適したプレパラートを作製している。 ○作製したプレパラートを検鏡し、腎臓の構造を観察している。	○腎臓の働きにより、体内環境が保たれていることについて、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

４．参考資料

•「ロハスの思考」　福岡伸一著　ソトコト新書

•「ブタ腎臓の解剖と組織の観察」 清泉女学院中学高等学校　飯島 和重

http://www. toray. co. jp/tsf/rika/pdf/rik_005. pdf

http://www. keirinkan. com/kori/kori_biology/kori_biology_n1/contents/bi-n1/t-bu/5-t-6. htm

•「生物解剖実験あれこれ」内山裕之

http://homepage2. nifty. com/hirouchi/sub03. html

•「腎臓」

http://ja. wikipedia. org/wiki/%E8%85%8E%E8%87%93

思考学習

浄水器の構造と機能

浸透と透析

ある膜を隔てて、濃度の異なる二つの溶液が接すると、その膜が一部の粒子を透過させるとき、その性質を〔 ***半透性*** : semipermeability〕といい、それを示す膜を〔 ***半透膜*** : semipermeable membrane〕という。半透膜を介して粒子が移動するとき、溶媒の粒子が移動する場合を〔 ***浸透*** : osmosis〕といい、溶質の粒子が移動する場合を〔 ***透析*** : dialysis〕と呼ぶ。生体膜など、物質を選択的に移動させる能力を持つ場合以外は、規模の差はあるものの、浸透と透析は同時に進行する。

限外ろ過

フィルターの孔径を分子サイズに近づけたろ過は〔 ***限外ろ過*** : Ultrafiltration〕と呼ばれ、巨大分子を除去することができる。この例としては中空糸膜を使った家庭用浄水器等が挙げられる。また、生物の腎臓では糸球体において血液が限外ろ過されて尿(原尿)が生成されており、人工透析では失われた糸球体機能の代わりを人工透析装置の中空糸膜が補っている。長さ30㎝ほどの筒に、中空糸の細い管が約１万本束になって入っており、この中に血液を通す。

浄水の仕組み

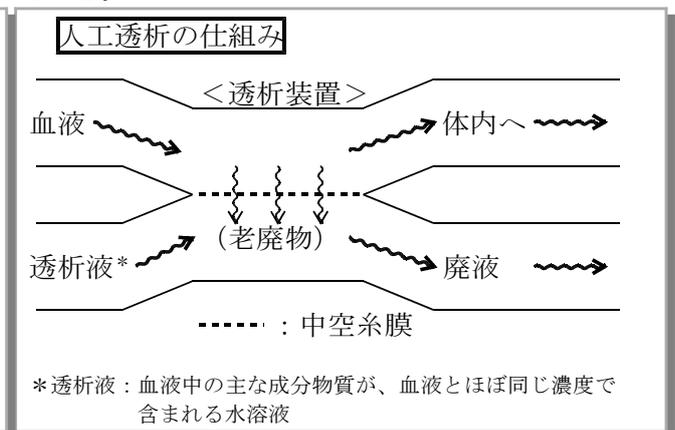
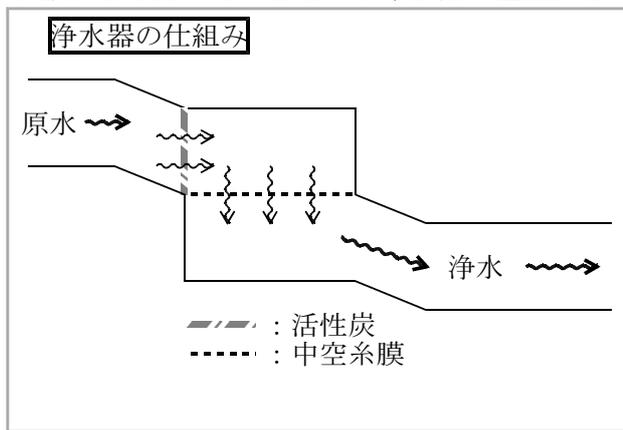
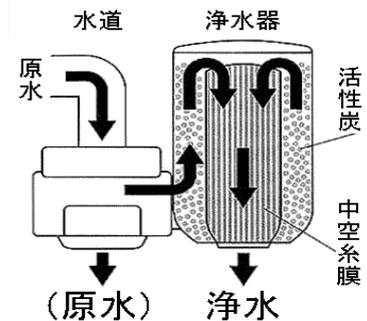
浄水器は、水道の蛇口から出た水をろ過材でろ過することにより水道水中の濁り、赤錆び、残留塩素、一般細菌などを取り除き、使用されるろ過材によって性能が決まる。

以前は、ろ過材として〔 ***活性炭*** 〕だけが使われていた。これは、原料のヤシ殻等を焼いて活性化し、吸着能力を高めた特殊な炭で、表面に無数の隙間がある。ここにカルキ臭、カビ臭などの元になる様々な物質や残留塩素を吸着して除去する。一方、塩素が除去され活性炭に吸着した有機物に一般細菌が繁殖する心配がある。

この細菌の問題を解決するために登場したのが、〔 ***中空糸膜*** 〕である。これは、中が空洞になっている糸状の繊維で、空洞の周りの壁面には一般細菌より小さい微細な穴が無数にあいている。これを束ねて両端を固定し円筒型の容器に入れたものが中空糸膜のカートリッジで、この容器に水を通すと穴より大きい濁り、赤錆び、一般細菌等は膜の表面で遮られ、これらが取り除かれた水が空洞の中を通って流れる。（体に必要なカルシウムやマグネシウムなどのミネラル分は、イオン化して水に溶けているためそのまま膜を通過する。）現在では、活性炭とこの中空糸膜の双方を組み合わせて使っているものが浄水器の主流になっている。

浄水器の仕組み

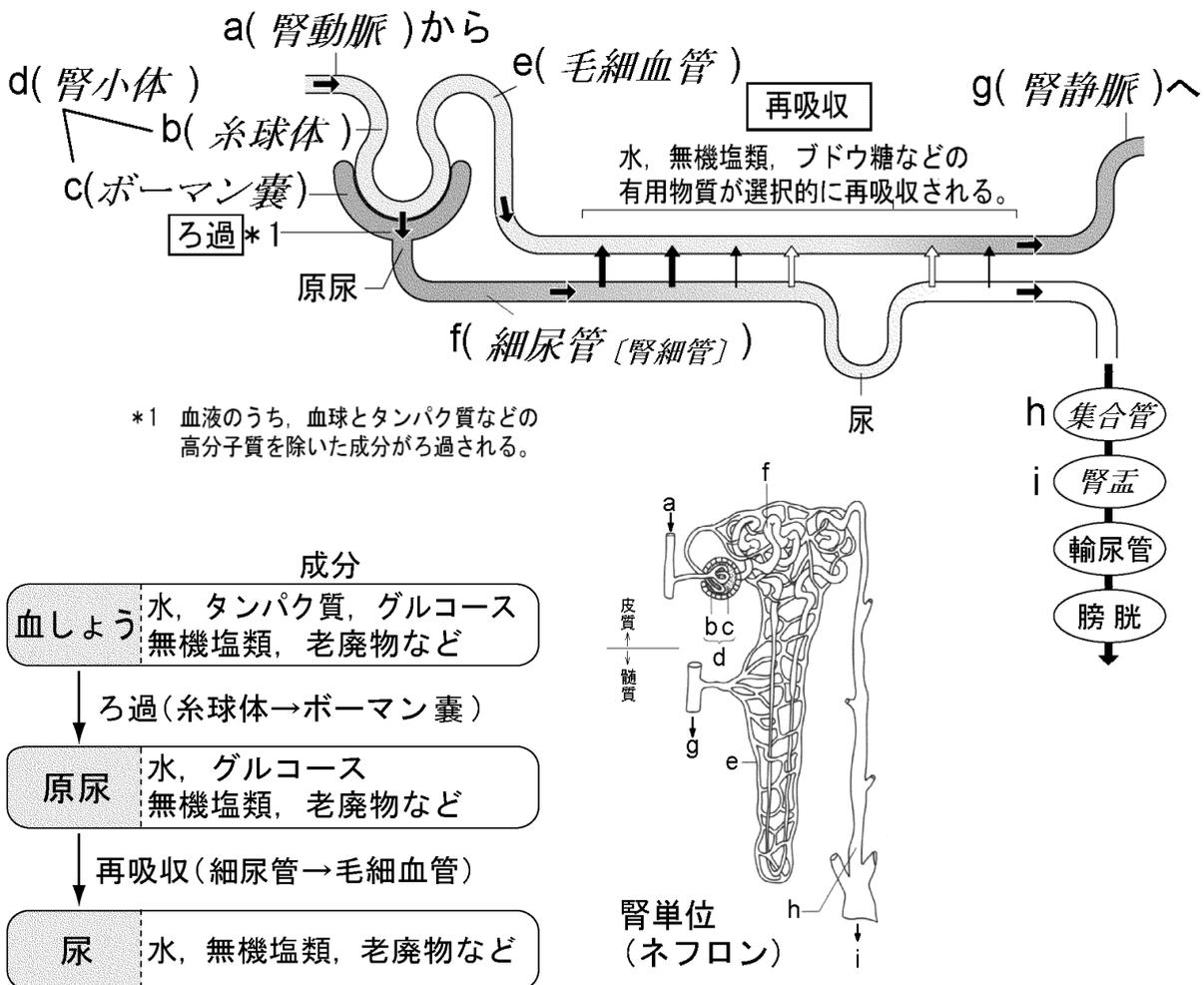
人工透析の仕組み

＊透析液：血液中の主な成分物質が、血液とほぼ同じ濃度で含まれる水溶液

Q：これらの仕組みの課題は何か。

A：***活性炭内部や中空糸膜の表面にゴミが徐々に蓄積し、そのキャパシティを越えると、もはや浄水器・透析装置としての用をなさなくなる（目詰まり）。そのため、これらの膜やろ過材を定期的に交換する必要が生じる。***

→腎臓はこのような方式ではない。腎臓は一度、汚れた血液を全部捨ててしまい、その後、必要な栄養分や無機塩類を選択的に再回収する。ここで再回収されなかったものは尿となって排泄される。このようなシステムを用いればシステム内部にゴミが蓄積する心配がない。

〔腎臓の構造と機能〕

解剖実験

腎臓の構造と機能

【目標】ヒトの腎臓によく似たブタの腎臓を観察することにより、腎臓の構造とその尿生成の仕組みについて理解を深める。

【準備】メス(調理用ナイフ)、解剖ハサミ、ピンセット、柄付針、止血鉗子(コッヘル鉗子)、注射器、先端を切断した注射針（または分注用ノズル＝先端がとがっていない針)、注射針処理容器、剃刀、厚紙、解剖皿、はかり、スライドガラス、カバーガラス、顕微鏡、墨汁、エオシン、ブタの腎臓（冷凍庫で長期保存が可能)、消毒用アルコール

＊感染予防のため、薄手のゴム手袋をする。

【準備上の留意点】

(1)ブタの腎臓は、食肉店あるいは食肉衛生検査所（食肉市場）から入手する(１個40～100円程度)。（食肉店では、「豚まめ」といい、野菜炒め・煮物・串焼き用の食材として扱っている。）

(2)注射針は、ペンチで刃のついている先端部を切り取る（→図１)。

図１

(3)切片作製器：剃刀２枚の間に厚紙(またはプラスチック板)を挟んで、両面テープで貼り合わせて作る(厚紙の厚さで切片の厚さが変わる。剃刀は新品を使う。使用後、エーテルアルコール(ジエチルエーテル１：メタノール１)に浸して表面についた脂肪を取ると切れ味が保てる)。

【方法】

(1)腎臓を覆っている漿膜を除く。

膜に少しハサミを入れた後、指を入れて、くるっと剥く（→図２)。そのまま、力をいれて引っ張ると、漿膜と腎門(管の出入りする腎臓の少し凹んでいるところ）付近の脂肪の一部が除去できる。

図２

(2)ハサミとピンセットで脂肪組織などを取り除き、腎門に３本の管を見つける（→図３)。

※漿膜と脂肪の除去に時間を要するので、１時限で観察を終えるときは、事前に処理をしておく。

輸尿管…白く最も太い。脂肪組織がまわりについている場合がある。

腎動脈…管の断面が円くしっかりしている。腎門に入る前に二つに分岐する（→図４)。

（食肉市場で、分岐より腎門側にメスが入ってしまっている時は、腎門付近に腎動脈が２本見えることがある。）

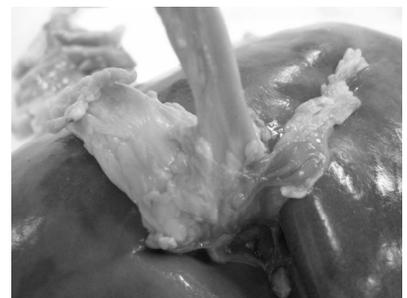



図３

腎静脈…極めて薄く、自力で丸い形を保つことができず、ぺったりとつぶれている。血液が残っていることが多い。また、腎動脈とぴったりくっついていることが多い。

・各管を見つけたら、その入口を止血鉗子でつまむように挟んでおくとよい。

図４

(3)外形及び３本の管を観察、スケッチした後、重さを量る。

〔　*約150*　g〕

(4)腎動脈から墨汁を注入する。

① 市販の墨汁を５倍程度に稀釈し、10mLの注射器にとる。

② 腎動脈に注射針を挿入し、腎門前で分岐して２本になっている腎動脈のうちの１本に注射針を進ませ、その血管を注射針ごと止血鉗子で留める。

③ 墨汁を静かに注入し、腎臓の皮質が黒く染まってきたら、墨汁の注入を止める（→図５）。

（食肉市場でメスが入っていて、墨汁が漏れる場合でも、ある程度は墨汁を注入してみる。あるいは切断面より先に動脈の入口を見つけ、そこから墨汁を注入する。）

＊間違って腎静脈に注入しても、静脈には逆流を防ぐ弁があるため、墨汁は入らない。

図５

(5)腎盂の内側が切り開かれるように、腎門の反対側の縁に沿ってメスを入れて縦断面を作る（→図６）。皮質はメスが容易に入っていくが、腎杯にメスが達するあたりから、抵抗感がある。腎杯から腎盂の壁は、固くしっかりしていることが分かる。腎盂の内側の滑らかな壁が現れにくいときは、途中から腎盂の内側に解剖ハサミを挿入して切り開くとよい。

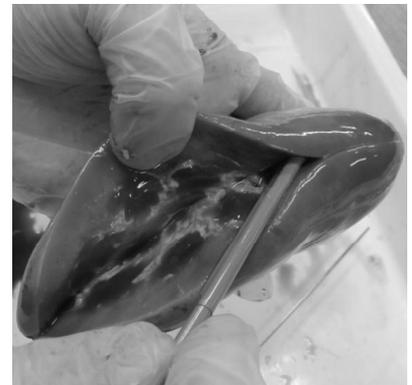



図６

(6)腎盂が現れたら、二つに切り離さないで、縦断面を観察する（→図７）。墨汁を注入した動脈の支配領域の皮質部分が黒く染まり、もう一方の動脈の支配領域は、通常の断面の様子を表している。主にこの後者の領域で、皮質部分(黄色味を帯びた桃色)と髄質部分(赤紫色)を区別する。いくつかのとがった形の髄質の先端部を腎乳頭といい、これを腎杯が取り巻いて、尿を受け、腎盂に尿が集まる。腎盂に集まった尿は、腎盂の腎門側の孔から輸尿管に導かれる。このつながりを理解するために、その孔から、ピンセットなどを挿し込む。初めに見つけた輸尿管につながっているのが分かる。腎盂が分からない場合は、逆に輸尿管の方からピンセットなどを挿し込むと腎盂に出てくる。

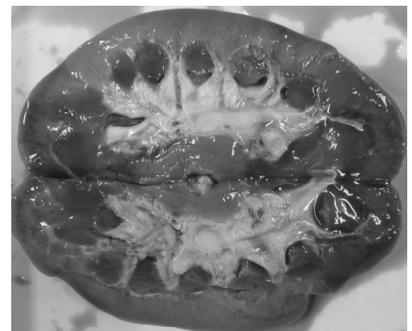



図７

(7)墨汁が注入されて黒くなっている皮質を解剖皿のマットの上に置く。これを押さえ、皮質の外側の面に直角方向に切片作製器を何度か往復させながら、下のマットに刃が入るくらいまで最後まで

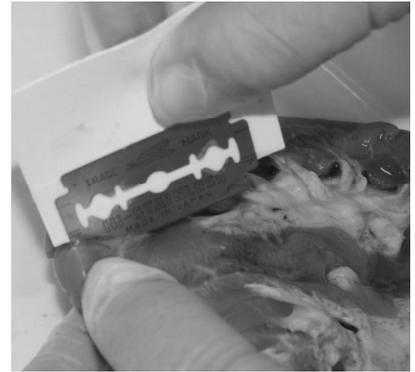
しっかり切る（→図８）。求める切片は、剃刀と剃刀のわずかな隙間に入っている。柄付針で２枚の剃刀の間を探ると、切片が付いてくるので、スライドガラスの上に広げる。カバーガラスをかけて検鏡する。注入した墨汁によって、血管の走行がわかる。輸入細動脈から糸球体に血管がつながり、再び同じ側から血管が出て、輸出細動脈になり、さらにそれが毛細血管として広がっている様子が観察される。

＊(4)～(7)は、腎臓を切開して、腎盂と輸尿管、腎動脈・腎静脈を確認してから、墨汁を注入してもよい。

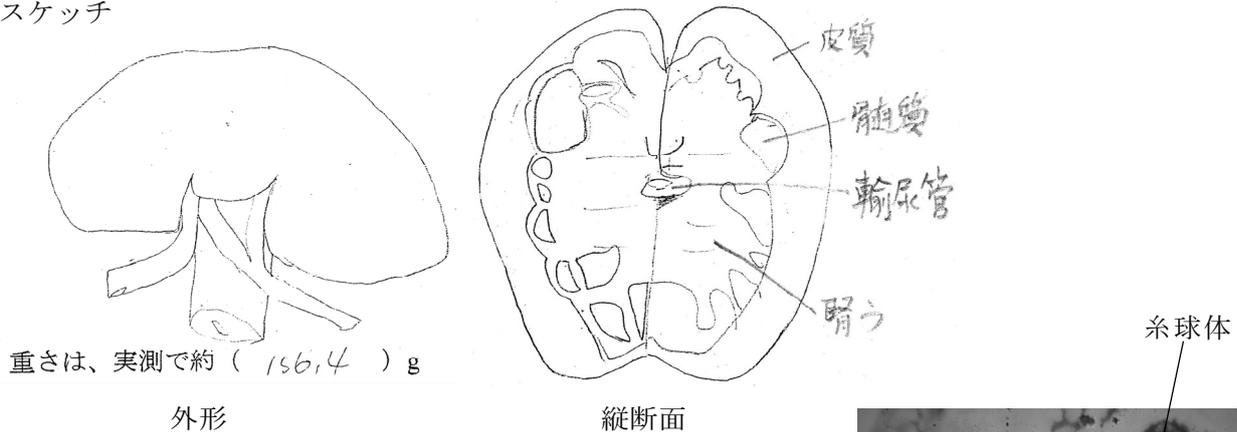
図８

【結果と考察】

(1)ブタの腎臓の外形は、豆形をしている。重さは、実測で（　***約150***　）gで、ヒトの約130gに近い。内部構造もヒトのものによく似ている。

(2)腎臓には、腎動脈・腎静脈・輸尿管の３本の管があることから、腎臓の機能を考える。

血液が腎動脈から腎臓に入り、腎静脈へ出てくる間に、血液中の不要なものが尿となって、輸尿管から出てくる。

(3)スケッチ

(4)切片の検鏡で、皮質に見える黒い球体は、毛細血管が玉になった糸球体と考えられる。糸球体では、ボーマン嚢に原尿が濾し出され、そこに続く細尿管に分布する毛細血管に必要なものが再吸収される。この顕微鏡像では、糸球体から出た血管が枝分かれしているが、これが細尿管に分布する毛細血管であると考えると、理解できる。すなわち、糸球体及びそれに続く毛細血管は、ネフロンでの血管の分布の様子を表している（→図９）。なお、エオシンで染色すると、ボーマン嚢や細尿管を見ることができる。

糸球体

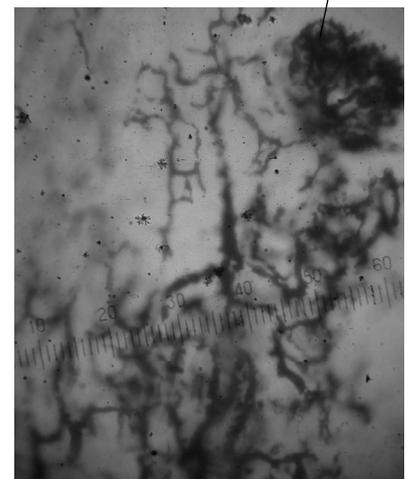



図９

(5)糸球体及びそれを包むボーマン嚢を含む腎小体は、皮質にある。

【発展】皮質の部分を、目の大きさを細かくしながら金網でろ過していくと、夥しい数の糸球体を得られることから、腎臓にはたくさんの糸球体、ひいてはそれだけの数の腎単位（ネフロン）があり、その集合として、腎臓の機能が営まれていることを知ることができる。

思考学習

腎臓の尿生成

1．空欄に適する語を入れよ。

＜塩類濃度等の調節＞

血液は、腎臓の皮質内の糸球体を通過する際に、血球や（　*タンパク質*　）などを除く血漿成分が（　*血圧*　）によって（　*ボーマンのう*　）へろ過され、原尿が生成される。これが（　*細尿管（腎細管）*　）や集合管を通過する間に、水やグルコース、無機塩類などの再吸収が起こる。このとき、血液の浸透圧（塩類等の濃度）を一定に保つために、水や無機塩類の再吸収量がホルモンの働きによって調節されている。例えば、ナトリウムイオンの再吸収は、（　*副腎皮質*　）から分泌される（　*鉱質コルチコイド*　）によって、また、集合管での水の再吸収は、（　*脳下垂体後葉*　）から分泌される（　*バソプレシン*　）によって促進されている。

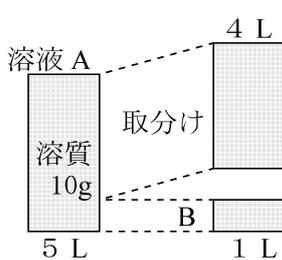
＜老廃物の排出＞

体内の（　*タンパク質*　）の異化（分解）によって生成されたアンモニアは、（　*肝臓*　）で毒性の少ない（　*尿素*　）に変換される。これは血流で腎臓へ送り込まれて、（　*糸球体*　）でろ過された後、尿生成の過程で濃縮して排出される。

2．右の表は、健康な人の血漿・原尿・尿の成分の濃度を測定した結果を示したものである。

（mg/L）

成分	血漿	原尿	尿
タンパク質	80000	0	0
グルコース	1000	1000	0
Na^{+}	3000	3000	3400
K^{+}	170	170	1470
Ca^{2+}	100	100	140
クレアチニン	10	10	750
尿素	300	300	20000

クレアチニン：筋肉へのエネルギーの供給源であるクレアチンリン酸の代謝産物

（1）グルコースが尿中に排出されない理由を説明せよ。

グルコースは、細尿管（腎細管）からこれを取り巻く毛細血管へ（一定濃度までは）全て再吸収されるから。

（2）尿素の濃縮率はいくらか。

（3）尿素以外で、濃縮率の最も高い成分は何か。

Na^{+}…1.13倍　K^{+}…8.6倍　Ca^{2+}…1.4倍　クレアチニン…75倍　∴クレアチニン

（主に筋肉で作られて血中に入り、糸球体でろ過された後、殆ど再吸収されず尿中に排出される。）

３．１日当たりの原尿量（糸球体でのろ過量）と、血漿から尿に排出される尿素の割合を求めるため、２．の被験者にイヌリン*を静脈注射し、血漿中の濃度が安定してから、血漿中及び尿中のイヌリンと尿素の濃度を測定した（イヌリンクリアランス）。右の表はそれぞれの濃度を示したものである。なお、この人が１日に排出した尿は1.5Lであったとする。

（mg/L）

成分	血漿	原尿	尿
イヌリン	1000	1000	120000
尿素	300	300	20000

＊イヌリン：様々な植物によって作られる多糖類の一種で、果糖の重合体である。キク科の植物は球根に栄養源を貯蔵するための手段として利用している。ヒトの体内では合成も分解もされず、糸球体からろ過され、再吸収も追加分泌もされないため、腎機能の測定を行う指標物質として使用される。

（１）１日の原尿量はいくらか。

〔考え方の例〕

原尿

水分

再吸収

尿

Y L

1.5 L

イヌリン濃度

1000*mg/L*　　120000*mg/L*

例えば、仮に左の図で考えた場合、

溶液 D の濃度＝10g ÷１ L ＝10 g/L

溶液 D の濃度は、溶液 A の濃度の５倍（濃縮率）
（10÷２＝５）
溶液 D の体積は、溶液 A の体積の１／５
（上記２行は）逆数の関係

溶液 A の体積を Y、溶液 D の体積を X、濃縮率を n とすると、
Y ＝n ・X　の関係が成り立つ。

イヌリンの濃縮率＝120000mg/L ÷1000mg/L
＝120　（→n）

∴１日の原尿量（Y）＝120×1.5 L/日
＝180 L/日

※ なお、この180L/日を可視化するモデルとしては、２L PETボトル90本分となる。（右図参照）

（２）血漿から尿に排出される尿素の割合を求める。

①１日にろ過される原尿中の尿素量はいくらか。

300 mg/L ×180 L/日＝54000 mg/日＝54 g/日

∴54g

②１日に排出される尿中の尿素量はいくらか。

20000 mg/L ×1.5 L/日＝30000 mg/日＝30 g/日

∴30g（＝１日に生成される尿素量に等しいと考えられる。）

③尿素の排出した割合はいくらか。

30 g ÷54 g ×100 =55.5･･･＝約56%　　　∴56%

（※老廃物である尿素は、本来100%排出したいが、細尿管などから水分・無機塩類などとともに約44%も再吸収してしまっている。そのため、生成した尿素が体内にたまらないように、血液は腎臓で繰り返しろ過していると考えられる。）

【発展課題】

４．１日当たり腎臓に流入する血液量を求めるため、パラアミノ馬尿酸（PAH）*を静脈注射し、血漿中の濃度が安定してから、血漿中及び尿中のパラアミノ馬尿酸と尿素の濃度を測定した。右の表はそれぞれの濃度を示したものである。なお、この１日で排出された尿は1.5L、PAHは腎臓の排出領域からその90％が血液中から排出され、このときのヘマトクリット値（血液における細胞成分が占める容積の割合）は40％であったとする。

（mg/L）

成分	血漿	尿
パラアミノ馬尿酸	30	18900

＊パラアミノ馬尿酸（PAH）：体内で合成も分解もされない有機酸の一種で、糸球体よりろ過されるが、さらに糸球体を通過した血液からも近位細尿管で排出され、再吸収はされない。そのため、健常者では、血中濃度が５mg/dL以下のときはPAH-クリアランスは腎臓の血漿流量の90％とよく一致し、同時に近位細尿管の機能を示すものとされている。

（１）１日当たりのPAHの排出量はいくらか。

18900 mg/L ×1.5L/日＝28350 mg/日

∴ 28350 mg/日

（２）血漿中のPAHの量はいくらか。

血漿中のPAHの90％が尿中に排出されることから、

28350 mg/日÷0.9＝31500 mg/日　　∴ 31500 mg/日

（３）（２）の量のPAHを含む血漿の体積はいくらか。

血漿１L当たりPAHが30mg含まれるので、31500 mgを含む血漿の体積は、

31500 mg/日×1000÷30＝1050000 mg/日＝1050 L/日　　∴ 1050 L/日

（４）１日当たり腎臓に流入する血液の体積はいくらか。

血液中の細胞成分が40％ということは、血漿の割合が60％となるので、

1050 L/日÷0.6＝1750 L/日　　∴ 1750 L/日

（５）ヒトの全身に含まれる血液量は、体重のおよそ1/13（男性で約８％、女性で約７％）といわれている。血液の体積を求めよ。ただし、血液の比重1.05とする。

60kg × 1/13＝4.615・・・＝約4.62kg

4.62kg ÷1.05kg/L ＝ 4.4L　　∴ 4.4L

【まとめ】上記の問題から分かったことを記述しよう。

ヒトの腎臓では、体液の恒常性のために、１日当たり約1750 Lの血液が流入し、約180Lの原尿がろ過された後、細尿管などでの再吸収により成分の濃縮・調整がなされ、約1.5Lの尿として排出している。つまり、１日に約400回（1750÷4.4＝397.72・・・）も全身の血液が腎臓に流入して、老廃物の排出や水分・塩類の調節をしていることになり、このことからも、腎臓の働きの素晴らしさが分かる。

もし、腎臓の機能が落ちたときは、体内の老廃物の排出が不完全となり、健康への影響が大きいことが分かる。

事例Ⅳ　体内環境の維持の仕組み

１．授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
1	導入実験： ホルモンの作用による呼吸数の変化 【資料】P. 47	メダカにアドレナリンを投与し、呼吸数の変化を観察させることで、ホルモンの作用により調節されている仕組みに関心をもたせる。	○生体を扱うことから、試料の状態を把握し、無益な殺生とならないように配慮する。 ○衛生面での配慮として、実験後の手洗い等を指導する。
2	思考学習： 鱗の色素胞の変化の仕組み 【資料】P. 48～51	カリウムイオンやノルアドレナリンが及ぼす鱗色素胞の変化に関する実験資料を提示し、自律神経系と内分泌系による調節と反応の関係について気付かせ、その仕組みの理解を深めさせる。	○資料の読解に時間を要するので、適宜補足説明し、それぞれの段階で実験の目的を明確に把握できるよう指導する。
3	課題研究： 気管支拡張剤の働き 【資料】P. 52～53	経皮吸収型気管支拡張剤を題材に、ホルモンの受容体と作用についての課題研究に取り組むことで、体液の濃度が自律神経系と内分泌系の作用により調節されている仕組みを理解させるとともに、ヒトの健康について関心を高めさせる。	○調査に要する時間を確保するとともに、調査事項を学習事項と関連させることで、思考力・表現力の育成を図る。

２．教材試料について

メダカ：生徒は、小学校理科において「生物には雌雄があること」を学ぶ試料として接しているが、野生状態で目にすることはほとんどなく、今では身近な生物と言い難い状況である。本実験では、入手・飼育の容易さから、一般に販売されているヒメダカを試料とした。事前指導において、メダカの品種開発や野生種に着目した環境保全、遺伝子レベルでの生物多様性などについての資料を提示し、試料を通して広い視野で学習内容への関心を高めさせる工夫をした。

　思考学習においては、鱗の色素胞に対する各種薬物の作用を確かめる実験結果を基に、黒色素胞と白色素胞の色素顆粒運動調節の仕組みを解明することを求めている。そのため、試料としては色素胞を多く持つクロメダカを取り上げている。

アドレナリン：呼吸数や心拍数の増加を促す作用をもつホルモン剤として、市販されている（例：￥3980/ｇ（関東化学株式会社製））。２％程度の水溶液として飼育水中に滴下する。

　劇薬・処方せん医薬品であり、気管支喘息および百日咳に基づく気管支痙攣の緩解、各種疾患もしくは状態に伴う急性低血圧またはショック時の補助治療、心停止の補助治療のために、医師等の処方せんにより使用することとされており、取り扱いに注意する。

　また、アドレナリンの自己注射薬（エピペン）は、ハチ毒、食物、薬物などのアレルギーでアナフィラキシーになった重い傷病者に対して用いる治療薬でもある。傷病者は事前に病院で医師よりエピペンを処方されており、本人が適切に使用できるように指導されている。

経皮吸収型気管支拡張剤：本事例では、風邪や喘息の治療薬として処方される塩酸ツロブテロールの貼り付け剤（商品例：ホクナリンテープ（0.5、１、２mg））を取り上げた。

３．学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価規準	○日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象、自己の健康管理について関心をもち、意欲的に探究しようとする。 ○体内環境の維持の仕組みについて関心をもち、意欲的にそれらを探究しようとする。	○観察・実験結果から問題を見いだし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを表現している。 ○動物の体内環境が自律神経系と内分泌系の作用により調節されている仕組みを考察し、導き出した考えを的確に表現している。	○体内環境の維持の仕組みについての観察、実験を行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。 ○実験の目的を達成することのできる条件設定をし、試料を作製している。 ○作製した試料を観察し、データを収集・解析している。	○体内環境の維持に自律神経系と内分泌系が関わっていることを、ヒトの健康と関連させて理解し、知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

４．参考資料

・アドレナリン注0.1%シリンジ「テルモ」　テルモ株式会社
　http://www.terumo.co.jp/medical/di/data/adrenaline/adrenaline.pdf
・「消防機関における自己注射が可能なアドレナリン（エピネフリン）製剤の取扱いに関する検討会」報告書　平成21年８月17日　総務省消防庁
　http://www.fdma.go.jp/pdf/2009/0817/02_houkokusyo.pdf
・国際生物学オリンピック日本大会（JBO）2011広島　実験試験問題冊子
　http://www.jbo-info.jp/index.html
・ツロブテロール
　http://www.okusuri110.com/dwm/sen/sen22/sen2259707.html
・Qlife お薬検索－久光製薬－ツロブテロールテープ0.5mg
　http://www.qlife.jp/meds/rx9696.html
・ホクナリンテープ
　http://kusuridukuri.cho-chin.com/drugs/075hokunalin.html

実験

ホルモンの作用による呼吸数の変化

【目的】ホルモンがメダカの呼吸数にどのような影響を与えるか調べ、ホルモンが働く仕組みを考察する。

【材料】メダカ、チャック付きビニル袋、酸素の出る石（過酸化カルシウム CaO_2）、100㎖ビーカー
２％アドレナリン水溶液、

【方法】

① メダカが十分に入る大きさのチャック付きビニル袋に、飼育水と酸素の出る石、メダカを入れる。これを一つのセットとする。袋にA、Bと書いておく。
水温を15℃に保ったビーカーの中に以下のAとBの２セットをそれぞれ、５分間入れておく。
A：水温15℃でアドレナリンを加えないセット
B：水温15℃で、後ほどアドレナリンを加えるセット

② １回目は、アドレナリンを加えずに、Aセット、Bセットをそのままの状態で観察する。ビーカーの横から、呼吸数（回/30秒）を２回、測定する。→【結果１回目】

③ Bセットだけに２％アドレナリン水溶液（点眼びん）をビニル袋内に５滴、滴下し、３分間待つ。②と同様に、メダカの呼吸数（回/30秒）を測定する。→【結果２回目】

④ 結果の１回目と２回目を比較して変化率を求め、どのようなことが分かるのか考察する。

【結果】

班	個体	【結果１回目】（回/30秒）		平　均（ａ）	【結果２回目※】（回/30秒）		平　均（ｂ）	変化率（ｂ/ａ）
1	A	*83*	*68*	*75.5*	*79*	*78*	*78.5*	*1.04*
	B	*76*	*75*	*75.5*	*93*	*89*	*91.0*	*1.21*
2	A	*107*	*97*	*102.0*	*118*	*105*	*111.5*	*1.09*
	B	*134*	*110*	*122.0*	*154*	*150*	*152.0*	*1.25*

（※Bセットにアドレナリンを加えた後の測定）

【考察】

水中に滴下したアドレナリンは、表皮または鰓から取り込まれ、（血液によって呼吸器官まで運ばれ、）鰓蓋の運動を促進して、呼吸数が増加したと考えられる。

【まとめ】

アドレナリンは、（ ***副腎髄質*** ）から分泌されるホルモンの一種であり、（ ***血液*** ）によって（ ***標的器官*** ）まで運ばれる。標的器官の細胞は（ ***アドレナリン受容体*** ）を持っている。
器官によって作用が異なり、心臓に対しては心拍数を（ ***増やす*** ）作用や（ ***収縮*** ）の強さを増す作用、肝臓に対してはグリコーゲンを（ ***分解*** ）して血糖値を（ ***上げる*** ）作用などがある。

思考学習

鱗の色素胞の変化の仕組み

魚類は、周囲の環境や個体の緊張状態などに応じて体色が変化する。これは、体表に存在する色素をもった細胞（色素胞）中の色素顆粒が収縮・拡散することで起こる。色素胞は色素の色によって大別され、例えば、メダカの鱗には、メラニン顆粒をもち黒色に見える黒色素胞、カロチノイド顆粒をもち黄色に見える黄色素胞、また、グアニン顆粒をもち光を反射して白く見える白色素胞がある。野生メダカの場合、頭部から背びれにかけての背部周辺に黒色素胞と黄色色素胞が網目状に集中してあり、白色素胞は腹部を中心に分布している。

【実験１】（個体レベル）

体色に差がない２匹のメダカを用意し、黒い容器と白い容器にそれぞれ入れてしばらく置き、体色を変化させる。黒い容器のメダカを白い容器に移し、体色変化をする様子を観察する。

〔結果〕 ２匹の体色の差がなくなる時間を測定すると、体色の白化は１～２分で起きる。

Q. 1　明るいところで体表が白色化する利点はどのようなものが考えられるか。

A. 1　***保護色となって外敵から見つかりにくくなる。***

【実験２】（器官～細胞レベル）

明るい所で体が白色化する仕組みを解明するために、メダカを氷冷麻酔し、先鋭ピンセットで背中から鱗を抜き取る。それを生理的塩類溶液に浸し、透過照明を用いて顕微鏡で観察すると、放射状の突起をもつ黒色素胞と、その周辺にある黄色素胞が見える。色素顆粒は、細胞内に均質に拡散した状態（拡散状態）にある。一方、同じ鱗を落射照明を用いて観察すると、白色素胞が見え、黒色素胞や黄色素胞とは逆に、色素顆粒が細胞の中心部に集まっている。（なお、ほとんどの白色素胞は黒色素胞と上下に重なって存在するため、鱗を黒色素胞の側から観察した場合は白色素胞を観察できないことがある。白色素胞が観察できないときは、色素胞が載っていない鱗の透明部分を先細ピンセットでつまんで、鱗を裏返して白色素胞を確認する。色画用紙を下に敷くと白色素胞が観察しやすくなる。）

次に、カバーガラスの縁に等張カリウム液を滴下し、反対側からろ紙で鱗を浸している溶液を吸い取り、等張カリウム液を導き入れて色素胞の様子を観察する。

〔結果〕黒色素胞と黄色素胞では細胞の突起が収縮して円形へと変化する。この反応は、色素顆粒が細胞の中心部へ集まる色素顆粒凝集反応であり、細胞の輪郭は変化しない。一方、同じ鱗を落射照明を用いて観察すると、白色素胞は、色素顆粒拡散反応が引き起こされて色素顆粒が細胞内へ均質に拡散するため、突起をもった白色素胞の輪郭を観察できる。

Q. 2　ここまでの実験からメダカの体表が白色化する仕組みについて考えられることは何か。

A. 2　***①生理的塩類溶液から等張カリウム液に置き換えると、K^+が直接鱗の色素細胞に作用し、黒色素顆粒は急速に凝集する。また、白色素胞は、色素顆粒が拡散する。　　または***
②（直接観察することはできないが、色素胞の周辺には色素胞神経の神経終末が密に分布している。）黒色素胞と黄色素胞は、K^+によって色素胞神経が興奮して神経終末から神経伝達物質が色素胞の周りに放出されると、黒・黄色素顆粒は急速に凝集する。また、白色素胞は、色素顆粒が拡散する。

【実験３】（分子レベル）

A. ２の①・②の真偽を確かめるため、メダカから鱗を摘出し、生理食塩水に浸して18℃で15時間程度静置させ、この鱗を用いて次の（１）、（２）の実験を行った。

（１）実験２と同様に、鱗を浸している液を等張カリウム液に置き換えた。

〔結果〕黒色素顆粒は凝集せず、色素顆粒が拡散しなかった。

（２）神経伝達物質が黒色素胞と白色素胞に作用するかどうかを調べるため、鱗を浸している液に、自律神経系の神経伝達物質であるノルアドレナリンとアセチルコリンの水溶液をそれぞれ滴下した。

〔結果〕ノルアドレナリンを滴下した場合、黒色素胞では速やかな色素顆粒の凝集反応が起こり、やや遅れて白色素胞の色素顆粒拡散反応が起きた。これに対して、アセチルコリンを滴下した場合はこのような反応は見られなかった。

Q. ３　この実験から分かることは何か。

A. ３ ***（１）で黒色素顆粒は凝集せず、（２）で黒色素顆粒は凝集したことから、色素胞の反応は、K^+が直接鱗の色素細胞に作用しているのではなく、（K^+によって脱分極して）色素胞神経が興奮して神経終末から神経伝達物質が色素胞の周りに放出されることで色素胞が反応することが分かる。（この実験で用いる鱗は、メダカから摘出した後、生理食塩水に浸して18℃で15時間程度、静置させたことで、鱗に残った色素胞神経の終末は働かなくなっていると考えられる。したがって、この実験で用いた鱗の色素胞に対する各試薬の作用は、神経を介した間接的なものではなく、色素胞に対する直接作用と考えることができる。）***

（２）で、黒色素胞・白色素胞ともに反応を起こすのはノルアドレナリンの場合であることから、メダカの体の白色化において、どちらの細胞も反応を引き起こすのは（ノルアドレナリンを分泌する）交感神経であると考えられる。

【実験４】（神経伝達物質受容体）

ノルアドレナリンは、黒色素胞にある受容体R_1、白色素胞にある受容体R_2と結合して作用する。一方、受容体阻害剤は、特定のタイプの受容体と特異的に結合し、神経伝達物質の作用を阻害する。つまり、ある神経伝達物質の作用がどの阻害剤で阻害されるかを調べれば、その神経伝達物質が結合

する受容体のタイプを判定することができる。４種類の受容体阻害剤をそれぞれ滴下した鱗にノルアドレナリンを加えて反応を観察した。なお、４種類の受容体阻害剤の物質名や作用、結合する受容体のタイプは次のとおりである。

アトロピン：心筋にあるムスカリン性受容体に作用させると副交感神経の刺激によって生ずる心拍動抑制が起こらなくなる。

ツボクラリン：骨格筋の神経筋接合部にあるコリン性受容体に作用させると、運動神経を刺激しても筋収縮が起こらなくなる。

フェントラミン：消化管に分布する血管にあるアドレナリン性α受容体と結合し、神経刺激による血管収縮反応を抑制する。

プロプラノロール：肝臓にあるアドレナリン性β受容体と結合し、アドレナリンの刺激によるグリコゲン分解を抑制する。

〔結果〕フェントラミンを滴下した場合、黒色素胞の凝集が見られず、プロプラノロールを滴下した場合、白色素胞で拡散が見られなかった。

Q. 4

自律神経系による各器官の機能調節では、交感神経と副交感神経が拮抗的に働くことが知られている。例えば、心臓では交感神経が働くとノルアドレナリンが放出され、心臓にある受容体と結合して拍動数を増加させる。一方、副交感神経が働くとアセチルコリンが放出され、受容体と結合して拍動数を減少させる。メダカの色素胞では、神経が興奮すると黒色素胞と白色素胞で逆の反応が起こる。実験結果から、「この反応は交感神経と副交感神経による調節の結果である」と考えられるか。考えられる場合はその理由を､考えられない場合はなぜ色素胞に逆の反応を引き起こすことができるのか、実験結果を踏まえて簡潔に述べよ。

A. 4 ***実験３より、アセチルコリンが作用しないので交感神経と副交感神経による拮抗的な調節があるとは考えられない。一方、実験４より、黒色素胞はアドレナリン性α受容体をもち、白色素胞はアドレナリン性β受容体をもつと考えられる。二つの色素胞がそれぞれ異なる受容体をもつため、一つの神経伝達物質（ノルアドレナリン）により黒色素胞には顆粒凝集反応を引き起こし、白色素胞には顆粒拡散反応を引き起こすことができると考えられる。***

【実験５】

脳下垂体などから分泌されたホルモンが血流によって鱗にある毛細血管へ運ばれ、色素胞に作用するかどうかを確かめるため、次の実験（１)、（２）を行った。

（１）脳下垂体から放出される、色素顆粒運動の調節にかかわると考えられる二つのホルモン、MSH と MCH の、黒色素胞と白色素胞に対する作用を調べる実験を行った。（この実験では、入手が容易なヒトα-MSH とヒト MCH を用いているが、メダカ色素胞に対する作用は確認している。）

〔結果〕MSH は白色素胞の顆粒拡散反応を引き起こすが、黒色素胞には効果が見られなかった。一方、MCH は黒色素胞の顆粒凝集反応を引き起こし、白色素胞には効果がなかった。

（２）脳下垂体由来の MSH と MCH はペプチドホルモンである。黒色素胞や白色素胞に作用するとき、「神経伝達物質の受容体と結合して色素顆粒の運動を引き起こす」という可能性が考えられ

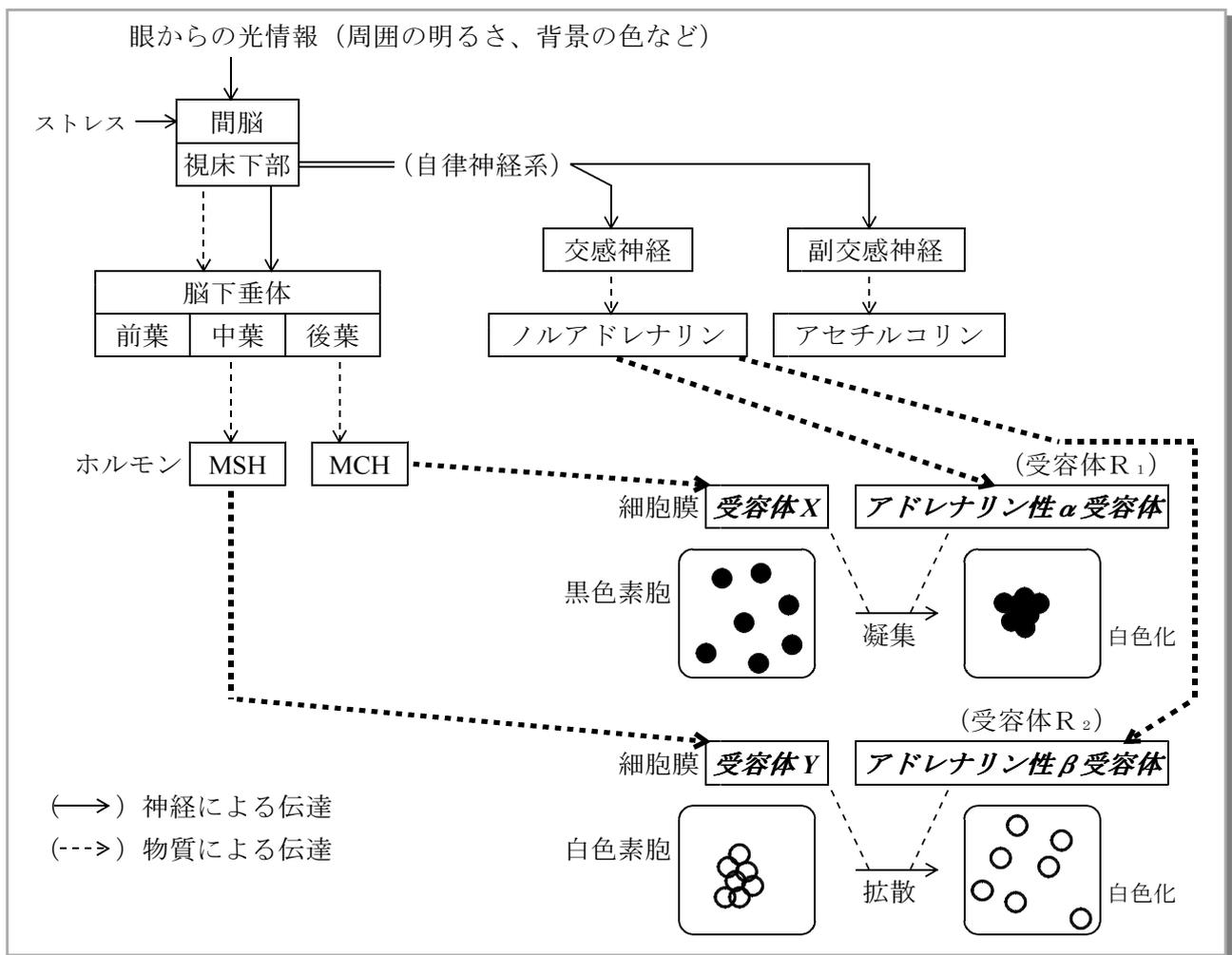
る。そこで、実験４で用いた４種類の神経伝達物質受容体の阻害剤を滴下して、MSH と MCH の黒・白色素胞に対する作用が阻害されるかどうかを調べた。

〔**結果**〕実験４のどの阻害剤を滴下しても阻害されなかった。

Q. ５　この実験から分かったことは何か。

A. ５ ***（１）から、黒色素胞にはMCH 、白色素胞にはMSH が作用することが分かる。***
（２）から、黒色素胞や白色素胞には、それぞれMCH とMSH に対して、神経伝達物質受容体とは別の受容体（X、Y）が存在することが分かる。

【まとめ】

以上の実験結果を基に、次の図の空欄に適する語を入れ、伝達経路を矢印線で記入せよ。

課題研究

Q. 1　アドレナリンや関連するホルモンについて、その特徴と作用を調べてみよう。

※ 下波線部 は「生物基礎」で学ぶ内容

アドレナリンは、間脳視床下部で情報を感知した時はたらく交感神経の刺激により副腎髄質から分泌されるホルモンで、ノルアドレナリンを始めとする*カテコールアミン類の一種である。標的器官・標的細胞ごとに異なる種類のアドレナリン受容体(Adrenergic　receptor)をもつことが分かっている。これは、主に心筋や平滑筋に存在し、脳や脂肪細胞にもある。

・アドレナリン受容体

α1（α1A、α1B、α1D）: 血管収縮、瞳孔散大、立毛、前立腺収縮などに関与

α2（α2A、α2B、α2C）: 血小板凝集、脂肪分解抑制のほか様々な神経系作用に関与

β1 : 心臓に主に存在し、心収縮力増大、子宮平滑筋弛緩、脂肪分解活性化に関与

β2 : 気管支や血管、心臓のペースメーカー（洞房結節）部位にも存在し、気管支平滑筋の拡張、血管平滑筋の拡張(筋肉と肝臓)、子宮の平滑筋等、各種平滑筋を弛緩させ、及び糖代謝の活性化に関与

β3 : 脂肪組織、消化管、肝臓や骨格筋に存在する他、アドレナリン作動性神経のシナプス後膜にもその存在が予想されている。基礎代謝に影響を与えているとも言われている。

＊カテコールアミン（Catecholamine）: 受容体に直接作動する代表的な物質であり、カテコールとアミンを有する化学物質である。多くの神経伝達物質等及び関連薬物の基本骨格になっている。

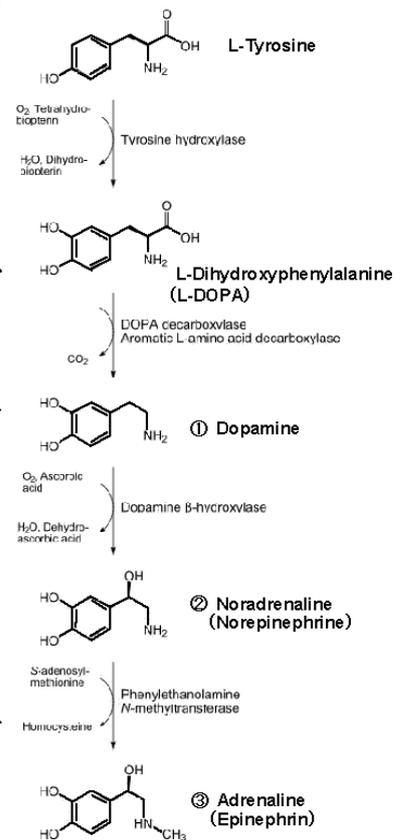
「チロシン→ドーパ→①ドーパミン→②ノルアドレナリン→③アドレナリン」の順で合成される（右図参照）。

・カテコールアミンの体内での動向の例

心配事があったり、強い恐怖を感じるといったストレスが原因で、カテコールアミンは増える。体に起きた反応とカテコールアミンの動向を調べた実験（ゲームの勝敗にスリルを感じさせる設定をした実験）では、血液中にカテコールアミンが通常の２倍以上の量になっていた。

・カテコールアミンの作用のメリットとデメリット

カテコールアミンは、心臓をどきどきさせたり、瞬発力を発揮するときに必要なホルモンで、よく知られるものに「火事場の馬鹿力」がある。カテコールアミンの作用で血管を収縮させ、手足の筋肉に大量の血液を送り、すごい力を発揮させる。

しかし、血小板を凝固させる働きがあり、脳梗塞や心筋梗塞の原因にもなっている。

①ドーパミン : α、β受容体のほか、ドーパミンに特異的なD1・2受容体に対しても作動する。

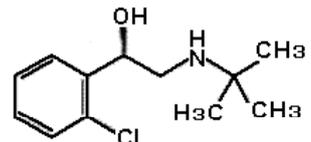
D1受容体は腎臓など内蔵血管の平滑筋に分布しており、cAMP 濃度を上昇させて筋を弛緩させることから、内蔵血流増加および利尿作用をもつ。したがって、血圧上昇作動がある一方で、乏尿や脈圧・脈拍数の変化などの悪影響が出現しにくいことから他のカテコールアミンよりも副作用が弱く、とくに中用量ドーパミンは昇圧剤として汎用される。

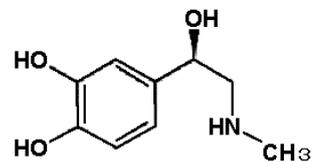
②ノルアドレナリン：αおよびβ1受容体には作動するが、β2受容体への作動は弱い。従って、昇圧作用が強いことから、急性低血圧やショック時の昇圧剤として、皮下注射あるいは静脈内持続投与により使用される。
③アドレナリン：各受容体に等しく作用し、強心、昇圧、気管支拡張、散瞳、血糖上昇の各作用を発揮する。臨床的には、心停止時に用いたり、アナフィラキシーショック・敗血症に対する血管収縮薬や、気管支喘息発作時の気管支拡張・痙攣抑制薬として用いられる。

Q. 2　風邪をひいて咳が出たとき、医師から処方された薬剤の中に、２cm角程度のテープ剤があった。薬剤説明書には、「適応：気管支喘息、急性気管支炎、慢性気管支炎、肺気腫。説明：主成分が塩酸ツロブテロールで、交感神経刺激作用のある気管支拡張剤です。体に直接張り付けて使います（経皮吸収型気管支拡張剤）。喘息以外の気管支炎などでも処方する種類のお薬です。」とあった。この薬剤の特徴と作用機構を調べてみよう。

※ 下波線部 は「生物基礎」で学ぶ内容

風邪をひいて咳が出た時や喘息の発作の時には、気管支が腫れたり気管支の筋肉が収縮し、気道が狭くなって空気が通りにくく呼吸が苦しくなる。そこで、発作を抑えたり、特に就寝時に予防するには、気管支の筋肉を弛緩して拡張させる必要がある。

経皮吸収製剤の場合、シールに薬剤をしみ込ませてあり、薬剤は非常にゆっくりと吸収される。ツロブテロールの場合、上腕や胸・背部の皮膚にテープを貼付けると、皮膚の角質層から脂質を通って数時間かけて吸収され、薬剤がゆっくりと毛細血管中の血液に入り、目的の組織（気管支）に届く。

塩酸ツロブテロール

次に、気管支平滑筋にあるアドレナリンβ2受容体というタンパク質に結合し、活性化させる。この受容体は、筋肉を弛緩させるためのシグナルを細胞内に送るタンパク質なので、気管支の筋肉は拡張する。その結果、発作がおさまる（予防できる）。

アドレナリン

ツロブテロールの血液内の濃度は約24時間一定に保たれ、この間の効果は持続する。そのため、一日に一回（３歳未満には0.5mg、３～９歳未満には１mg、９歳以上には２mg）貼付けるだけで、発作を抑制することができる。テープの作用時間が24時間と長いことから、寝ている間の喘息発作の抑制が可能となる。一般に、活動状態では交感神経の働きが優位に、リラックスした状態では主に副交感神経の働きが優位となる。就寝時は副交感神経が働くことで気管支が収縮し、呼吸の機能は夜から朝にかけて低下（モーニングディップ）するため、呼吸機能が低下する早朝に喘息の発作が起きやすくなる。テープは、このような早朝発作を抑えることができる。

また経皮吸収製剤は、薬を口から飲むことができない患者、例えば小さい子供への投与に使うことができる。

（３）生物の多様性と生態系

１．学習指導要領での位置付け

生物の多様性と生態系について観察，実験などを通して探究し，生態系の成り立ちを理解させ，その保全の重要性について認識させる。

ア 植生の多様性と分布　　　→事例Ⅴ

(ｱ) 植生と遷移

陸上には様々な植生がみられ，植生は長期的に移り変わっていくことを理解すること。

(ｲ) 気候とバイオーム

気温と降水量の違いによって様々なバイオームが成立していることを理解すること。

（内容の取扱い）

(ｱ)については，植生の成り立ちには光や土壌などが関係することを扱うこと。また，植物の環境形成作用にも触れること。(ｲ)については，気温と降水量に対する適応に関連付けて扱うこと。また，日本のバイオームも扱うこと。

イ 生態系とその保全

(ｱ) 生態系と物質循環

生態系では，物質が循環するとともにエネルギーが移動することを理解すること。

(ｲ) 生態系のバランスと保全

生態系のバランスについて理解し，生態系の保全の重要性を認識すること。

（内容の取扱い）

(ｱ)の物質の「循環」については，窒素の循環も扱うこと。(ｲ)については，人間の活動によって生態系が撹乱され，生物の多様性が損なわれることがあることを扱うこと。

ウ 生物の多様性と生態系に関する探究活動

生物の多様性と生態系に関する探究活動を行い，学習内容の理解を深めるとともに，生物学的に探究する能力を高めること。

なお、中学校理科第２分野では、**(7) 自然と人間**で、

- 自然界のつり合い
- 炭素循環について
- 自然界では生物がつり合いを保って生活していること
- 様々な要因が自然界のつり合いに影響していること

について学習している。

２．学習評価について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価規準	生物の多様性と生態系に関する事象について関心をもち、意欲的に探究しようとするとともに、科学的な見方や考え方を身に付けている。	生物の多様性と生態系に関する事象の中に問題を見いだし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	生物の多様性と生態系に関する事象について、観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、科学的に探究する技能を身に付けている。	生物の多様性と生態系に関する事象について、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

３．本単元における事例

事例Ｖ：植生の多様性

陸上に見られる草原や森林など様々な植生は、生育環境と密接に関連付いていることや、それらは不変でなく長期的に移り変わっていくことについて理解させるとともに、その多様性や保全の重要性を認識させることを目標としている。

そのために、まず、身近な植物の年間の変遷を観察させることで植生への関心を高め、植物の生活形を中心に学習内容の着眼点を意識させる。

次に、発問と提示資料の読解により得た知見を基に展開する学習活動を通じて、思考力・判断力・表現力を育成し、陸上植物の多様性と分布について様々な視点から理解を深める。

事例Ⅴ　植生の多様性

１．授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
1 （春～夏） 2 （晩秋～冬）	観察： 植物の生活形 【資料】P. 58～61	単元の導入として、学校構内または近隣の公園、里山、河川敷など、身近な植物の観察を通して、植生への関心を高めさせるとともに、生育環境に適応した形態と生活様式を見いださせる。	○現地の事前視察により、フィールドワークを行う際の安全面での配慮事項を想定しておく。 ○特定の樹木・草本類を継続して観察させ、季節変化に伴う形態の変遷から生活形を意識させる。
3 4	思考学習： 陸上植物の多様性と分布 【資料】P. 62～71	発問と提示資料の読解により、環境要因と植生との関係を理解させ、その植物がもつ形態・生理機構から生存戦略を考察させる。 前時に導いた知見を基に、世界のバイオーム、日本のバイオーム、植物の遷移に関する理解を深めさせる。	○実感を伴った理解につながるように、植物の標本、画像などを提示する。

２．教材試料について

現地の事前視察で植生を確認し、観察させたい常緑広葉樹（クスノキ、ツバキなど）・落葉広葉樹（カエデ、イチョウなど）・針葉樹（アカマツ、スギなど）・草本類など、後の学習で実例として取り上げる種を特定しておくとよい。

授業中の観察では、１時限で観察が終了するように、観察ルートや個体を指定しておいても良い。

フィールドワークにおいては、用箋ばさみ（クリップファイル）、構内平面図、ディジタルカメラ、植物図鑑などが班ごとに必要となる。

３．単元の学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価規準	○植生と遷移について関心をもち、意欲的にそれらを探究しようとする。 ○気候とバイオームについて関心をもち、意欲的にそれらを探究しようとする。	○陸上に見られる草原や森林など様々な植生は、生育環境と密接に関連付いていることや、それらは不変でなく長期的に移り変わっていくことを考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ○気温と降水量の違いによって、地球上では様々なバイオームが成立していることを、得られたデータから論理的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	○植生と遷移についての観察、実験、資料調べなどを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。 ○気候とバイオームについての観察、実験、資料調べなどを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。	○陸上には様々な植生がみられ、植生は長期的に移り変わっていくことを理解し、知識を身に付けている。 ○気温と降水量の違いによって様々なバイオームが成立していることを理解し、知識を身に付けている。 ○生態系について理解し、知識を身に付けるとともに、生態系の保全の重要性について認識している。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

４．参考資料

・「植物生理生態学授業ノート　－１枚の葉から日本の森林へ－」
「生態学を学ぶための34の断章」　東京大学大学院理学系研究科日光植物園　舘野 正樹
・「イタヤカエデはなぜ自ら幹を枯らすのか　樹木の個性と生き残り戦略」
渡辺 一夫 著　築地書館
・「原寸図鑑 葉っぱでおぼえる樹木」　濱野 周泰 監修　　柏書房　　2005年9月
・「原寸図鑑 葉っぱでおぼえる樹木２　濱野 周泰＋石井 英美 監修　　柏書房　　2007年３月
・「写真で見る植物用語」　岩瀬 徹・大野 啓一 著　全国農村教育協会
・「絵でわかる植物の世界」　大場 秀章 監修　清水 晶子 著　講談社サイエンティフィク
・「校庭の樹木百選」　馬籠 章子 教諭　栃木県立佐野女子高等学校100年誌
・「校庭の樹木100選」　馬籠 章子 教諭
栃木県立佐野女子高等学校　平成18年度研究紀要　「美可母」第40号
・雨温図
http://nocs. myvnc. com/study/uonzujp. htm
・雨温図作成フリーソフト
http://nocs. myvnc. com/study/uonzu. htm

観察

植物の生活形

【目的】身近な植物の観察を通して、生育環境に適応した形態と生活様式を見いだす。
【準備】学校構内の平面図（または地域の地図）、植物図鑑、筆記用具、ディジタルカメラ
【時期】（１）春～夏期
（２）晩秋～冬期
【内容】
（１）春～夏期：樹木・草本類を観察し、その生育場所を地図中に記入（広葉樹は○印・針葉樹は△印・草本類は□）し、識別番号を振る。その際、外観を撮影しておく。また、その種名や特徴、その植物にまつわるエピソードなどを調べて記録する。
〔観察ポイント〕樹形、樹高、胸高直径、葉のつき方、葉形、葉の厚み、葉の表面、花、日当たり
※関心喚起：学校樹（シンボルツリー・最大樹）を知ろう。
樹種名、樹高、特徴、植樹年、校樹制定の由来、エピソードなどをまとめる。
（２）晩秋～冬期：（１）で作成した植生図・資料を基に、各植物が変化した様子を観察する。その際、落葉していたら、図中の印を塗りつぶす（落葉広葉樹：●、落葉針葉樹：▲、草本類：■）。
〔観察ポイント〕休眠芽の様子、種子の形（風散布型／動物散布型／重力散布型）、地表の明るさ、地表の湿度

【結果】 （→ P. 59～61）

【考察】
①常緑樹が冬季をしのぐ仕組みを挙げよ。

広葉樹では、葉の表面にクチクラを形成して、冷気や乾燥から葉を守っている。
針葉樹では、葉を細くして表面積を少なくして、冷気や乾燥から葉を守っている。　など

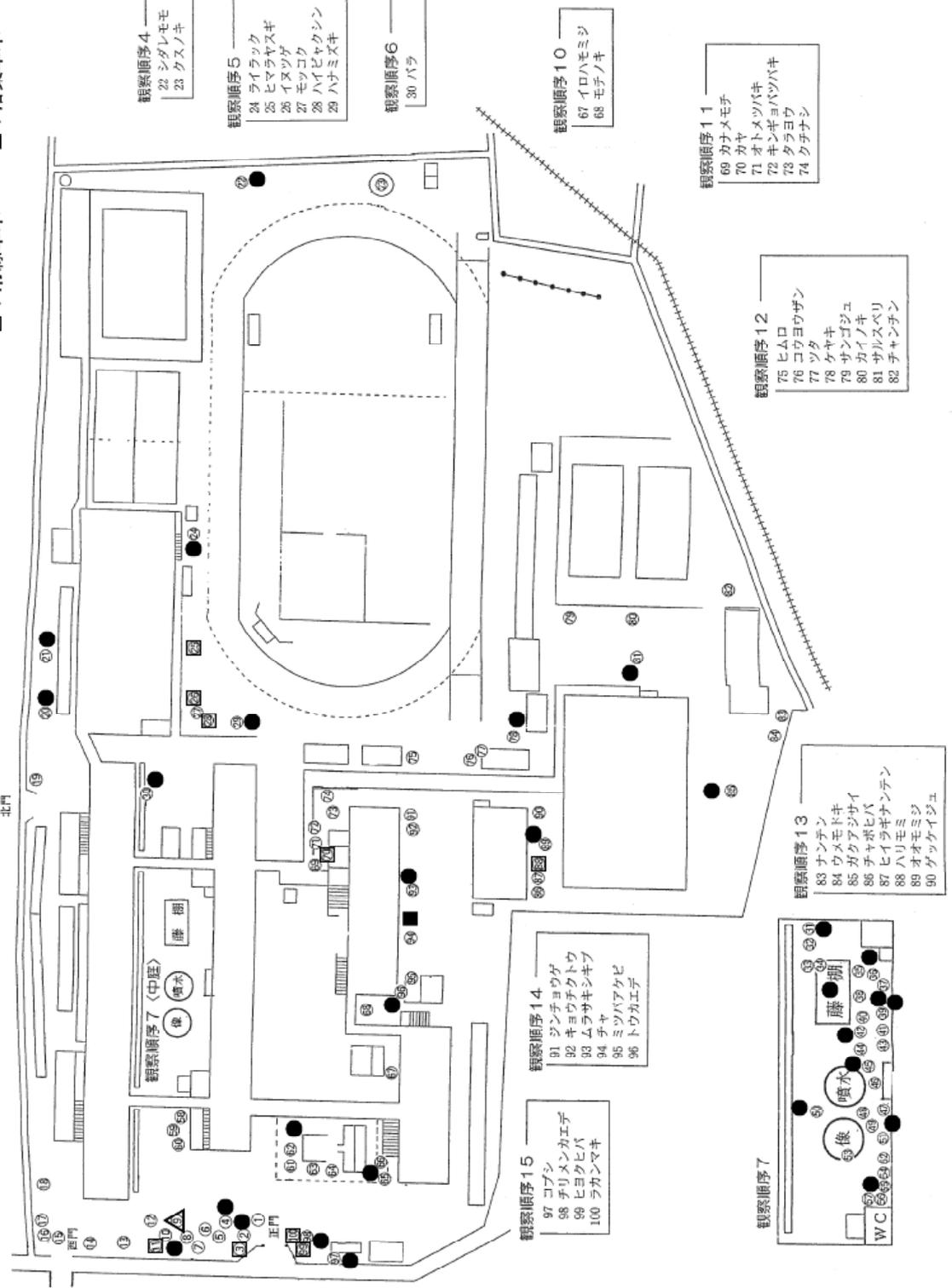
②落葉樹が冬季に落葉する意義を挙げよ。

表面積を減らして、冷気や乾燥から葉を守っている。　など

③草本類の冬季の形態・生活様式を挙げよ。

枯れて種子で越冬する（一年生草本）。／地上部を枯らして地中部（根・地下茎）だけで越冬する。／根生葉が地表にへばりついて越冬する（ロゼット型）。／地表の明るい晩秋から早春に葉を広げて光合成する。　など

構内植生図

○：常緑広葉樹
●：落葉広葉樹
△：常緑針葉樹
▲：落葉針葉樹
□：常緑草本
■：落葉草本
北門
西門
正門
観察順序１
1 イチョウ
2 シダレザクラ
3 カイヅカイブキ
4 ドウダンツツジ
5 シラカシ
6 スダジイ
7 コノテガシワ
8 サザンカ
9 クロマツ
10 トチノキ
11 バショウ
12 ムクロジ
13 キンモクセイ
14 ホオノキ
観察順序２
15 ハクチョウゲ
16 ヒイラギ
17 エンジュ
18 ツバキ
観察順序３
19 サワラ
20 ソメイヨシノ
21 ハナモモ
観察順序４
22 シダレモモ
23 クスノキ
観察順序５
24 ライラック
25 ヒマラヤスギ
26 イヌツゲ
27 モッコク
28 ハイビャクシン
29 ハナミズキ
観察順序６
30 バラ
観察順序７〈中庭〉
像
噴水
藤　棚
観察順序７
31 ヒメライラック
32 ピラカンサ
33 サツキ
34 フジ
35 コナラ
36 ヤマボウシ
37 タラノキ
38 シデコブシ
39 シラカバ
40 ハウチワカエデ
41 ヤツデ
42 ハクモクレン
43 アオキ
44 アセビ
45 ムクゲ
46 シュロ
47 ユキヤナギ
48 シャクナゲ
49 シャリンバイ
50 オモイガワザクラ
51 サンシュユ
52 タイサンボク
53 クルメツツジ
54 ヒノキ
55 ヤエヤマブキ
56 シラハギ
57 ミヤギノハギ
観察順序８
58 サカキ
59 シチダンカ
60 キンシバイ
観察順序９
61 ノウゼンカズラ
62 クレマチス
63 キミガヨラン
64 オオムラサキ
65 アオギリ
66 ナツツバキ
観察順序７
像
噴水
藤
棚
WC
観察順序１０
67 イロハモミジ
68 モチノキ
観察順序１１
69 カナメモチ
70 カヤ
71 オトメツバキ
72 キンギョバツバキ
73 タラヨウ
74 クチナシ
観察順序１２
75 ヒムロ
76 コウヨウザン
77 ツタ
78 ケヤキ
79 サンゴジュ
80 カイノキ
81 サルスベリ
82 チャンチン
観察順序１３
83 ナンテン
84 ウメモドキ
85 ガクアジサイ
86 チャボヒバ
87 ヒイラギナンテン
88 ハリモミ
89 オオモミジ
90 ゲッケイジュ
観察順序１４
91 ジンチョウゲ
92 キョウチクトウ
93 ムラサキシキブ
94 チャ
95 ミツバアケビ
96 トウカエデ
観察順序１５
97 コブシ
98 チリメンカエデ
99 ヒヨクヒバ
100 ラカンマキ

＜植生調査表＞

番号	和名 科名・学名	分類	冬季	幹（茎）	葉	花	種子・果実	環境
10	*トチノキ （栃、橡）*	*広葉樹*	*落葉*	*高さ25ｍ、太さも１ｍを越えるものが少なくない。*	*葉柄は長く、その先に倒卵形の小葉５～７枚を掌状につけ（掌状複葉）、全体の長さは50㎝にもなる。*	*５～６月頃、一斉に葉の間から穂状の花序をつける。個々の花と花びらはさほど大きくないが、白～薄い紅色で雄しべが伸び、全体としてはにぎやかで目立つ姿である。*	*９～10月に丸い果実が熟すと厚い果皮が割れて少数の種子を落とす。種子は大きさ、艶、形ともに、クリのとんがりをなくして丸くしたようなものになる。落下後、動物散布。*	*水気を好み、適度に湿気のある肥沃な土壌で育つ。山中では谷筋に良く見られる。*
	トチノキ科 Aesculus turbinata	*栃木県の県木。近縁種でヨーロッパ産のセイヨウトチノキ（Aesculus hippocastanum）が、フランス語名「マロニエ：marronnier」としてよく知られている。巨木になるものが多いので、昔はくり抜いて臼を作るのにも使われた。デンプンやタンパク質を多く含有する種子は栃の実として渋抜きして食用になる。山村ではヒエやドングリと共に主食の大きな一角を成し、常食しない地域でも飢饉の際の食料（飢救作物）として重宝された。*						
11	*バショウ （芭蕉）*	*草本*	*温帯生の宿根草*	*高さは２～３ｍで、木部は未発達*	*１～1．5ｍで幅50cm程の大きな葉をつける。*	*夏から秋にかけて形成される。*	*種子が大きく多く、小さいバナナ状の果実も綿のようでタンニン分を多く含む種株もあるため、その多くは食用には不適である。*	*熱帯を中心に分布しているが耐寒性に富み、関東地方以南では露地植えも可能である。*
	バショウ科 Musa basjoo	*琉球諸島では、昔から葉鞘の繊維で芭蕉布を織り、衣料などに利用していた。*						
18	*ツバキ （椿）*	*広葉樹*	*常緑*	*生長すると樹高15ｍほどになる。*	*光沢のある厚い葉をつける。*	*雄しべは筒状で、子房には毛がない。 花弁が個々に散るのではなく萼と雌しべだけを木に残して丸ごと落ちる。*	*秋に油分を多く含む、２～３㎝程の球形の実をつける。（種子から椿油をとる。）落下後、動物散布される。*	*耐陰性が強く、森林中の亜高木層を成す。*
	ツバキ科 Camellia japonica	*和名は、厚葉樹（あつばき）、または艶葉樹（つやばき）が訛った物とされている。木質は固く緻密、かつ均質で木目は余り目立たない。摩耗に強くて摩り減らない等の特徴から工芸品、細工もの等に使われる。代表的な用途は印材や将棋の駒である。日本酒の醸造には木灰が必要で、ツバキの木灰が最高とされている。また、アルミニウムを多く含むことから古くは媒染剤にも用いられた。*						

番号	和名 科名･学名	分類	冬季	幹(茎)	葉	花	種子・果実	環境
25	*ヒマラヤスギ*	*針葉樹*	*常緑*	*成長すると、高さ20～30mの高木になる。*	*針のような形で2.5～5cm程の長さで、細長く厚さは1mm程である。*	*雄花の松かさは4～6cmで、秋に花粉を放出する。雌花の松かさは樽形で、7～13cmの長さで5～9cmの幅がある。*	*球果（松ぼっくり）は大きく、縦10cm、横8cmほどの大きさになる。成熟（12か月）すると崩壊し、翼状の種子を落とす。*	*日当たりの良い場所*
	マツ科 Cedrus deodara	*明治初期に日本へ導入された。落下した球果の先端はバラの花のように美しく、ドライフラワーに利用される。校庭南東隅の６本は創立60周年記念樹である。*						
39	*シラカンバ（白樺）*	*広葉樹*	*落葉*	*樹皮が白く、薄く剝れる。20～30mになる。*	*三角形で、側脈が５～８対。早春に開葉し、秋に黄色く色づく。*	*花期は春で、雄花序は垂れ下がり、雌花序は短枝の先に直立する。自家不和合性が強く、遺伝子の多様性をもたせている。*	*風媒花で、翼のついた軽く小さな種子を大量に作る。風散布。*	*開けた明るい場所や倒木によるギャップ、山火事の跡などに定着する先駆種である。*
	カバノキ科 Betula platyphylla	*幹に「へ」の字の形の落枝痕が目立つ。生長が速い代わりに、寿命が短く70年ほどであり、時間経過とともに遷移の段階で後期の樹種にとって代わられる。春、芽吹く頃、幹に傷を付けると、大量の樹液が吹き出す。これは、人工甘味料キシリトールの原料になる。*						

＜本校のシンボルツリー＞

番号	和名 科名･学名	分類	冬季	幹（茎）	葉	花	種子	環境
23	*クスノキ（樟、楠）*	*広葉樹*	*常緑*	*周囲10m以上の巨樹になる個体も珍しくない。*	*厚みとつやが有り、先の尖った楕円形。４月末から５月上旬にかけて大量に落葉する。*	*５～６月頃、淡黄緑色の小さな花が咲く。*	*鳥散布*	*日当たりの良い場所*
	クスノキ科 Cinnamomum camphora	*各部全体から樟脳の香りがする。樟脳とはクスノキの枝葉を蒸留して得られる無色透明の固体のことで、防虫剤や医薬品等に使用される。カンフル注射のカンフルはこの樟脳を指しており、“camphora”という種名にもなっている。「臭し（くすし）」あるいは「薬（樟脳）の木」が語源とする説もある。またそのことや防虫効果から元来虫除け（魔除け：アジア圏では古来から虫（蟲）は寄生虫や病原菌などの病魔を媒介すると考えられていた）に使われたくす玉（楠玉）の語源であるという説もある。虫害や腐敗に強いため、古来から船の材料として重宝されていた。「トトロの木」*						
	エピソード	*樹齢は100年近いと思われる。本校校舎からの遠望が野菜のパセリに似ているところから、いつからか「パセリの木」と呼ばれ、昭和54年度学校祭を「葉聖里祭」と名付けて以来、本校のシンボルとして多くの先輩からも慕われてきた。*						

思考学習

陸上植物の多様性と分布

生物は、形態・食性・行動様式などが生息する環境に適応している。そのため、環境の異なる地域には構成種の異なる生物集団が生息し、それらの生物集団を〔　***バイオーム***　〕(生物群系) という。

陸上では、主に生産者である植物が光合成によって有機物を作り、消費者である動物などがこの有機物を利用して生活している。また、植物は動物の生息場所となることも多い。従って、陸上のバイオームは植生の違いを基にして考えていくとよい。

Q１．陸上の植物が生育するのに必要な主な環境要因として、どのようなものが考えられるだろうか。

Ａ１．***(１) 光：光合成の反応に用いられるエネルギー***
→葉の細胞中の葉緑体で吸収される。
(２) 水：光合成の反応に用いられる材料となる物質
→根の表皮細胞で吸収され、道管を通じて葉へ送られる。
(３) 温度：光合成の反応では酵素の働きが必要であり、その反応速度は温度に影響される。
→植物体の表面で受容される。
(４) 炭素成分 (大気中の二酸化炭素)：光合成の反応に用いられる材料となる物質
→葉の気孔から入り、葉肉細胞 (柵状組織・海綿状組織) で吸収される。
(５) 窒素成分 (土壌中の肥料＝アンモニウムイオン、硝酸イオンなど)：核酸 (DNA・RNA) やタンパク質、ATP などに含まれ、それらの合成 (窒素同化) に用いられるアミノ酸の材料となる物質。光合成の反応に必要な酵素 (ルビスコ：RuBP carboxylase など) はタンパク質を主成分とし、光合成能力は葉の窒素含量に比例する。
→根の表皮細胞で水とともに吸収され、道管を通じて葉へ送られる。

これらのうち、不十分なもの (限定要因) があると生育に影響を及ぼす。その地域の環境要因に適応した形質・植生が形成されると考えられる。

ここで、生物と環境の間の相互作用を考える生態学 (ecology *) を扱うために、経済学 (economics／経済 economy：社会が生産活動を調整するシステム) の考え方を見てみよう。
(生態学の名そのものは、ドイツのヘッケル E. H. P. A. Haeckel が1866年に手紙の中で使用した Ökologie が最初であるとされる。これは、自然界の生物の生存のための活動を、古代ギリシアの市民の家政機関であるオイコスにたとえて、オイコスを成立させる論理を究明する学問を意味する。この点で、生態学は同じオイコスを語源とする経済学との共通性も大きい。)

＊広義には生態学的な知見を反映しようとする文化的・社会的・経済的な思想や活動の一部または全部を指す言葉として使われる。(Ecology movement や Political ecology などに相当する。)

コスト-ベネフィット：生産活動に必要となる資源・エネルギー (cost：原価) を投資 (investment) する量と、生産活動によって獲得する資源・エネルギー (benefit：利益) 量のこと。活動を維持・継続するためには、設置費用・導入費用 (initial cost) と運用費用 (running cost) を合わせた総費用 (total cost)が、獲得する利益を下回らなくてはならない。
<生物での例>　***コスト：植物が成長するために消費するエネルギー***
ベネフィット：植物が光合成で獲得するエネルギー

メリット-デメリット：そのものが併せてもつ価値（merit）と欠点（demerit）のこと。
＜生物での例＞
・樹高（草丈）について：メリット＝茎を高く生長させることで、他の個体より光を多く受けて光合成量を増やせる。／ デメリット＝背の高い個体は、強風を受けて倒れやすい。
・種子の重さについて：メリット＝種子を軽く小さくした方が、散布する際、遠くへ行きやすいために繁殖域が広がる。／ デメリット＝軽く小さい種子は、栄養分が少なく、生存率（成長度）が小さい。

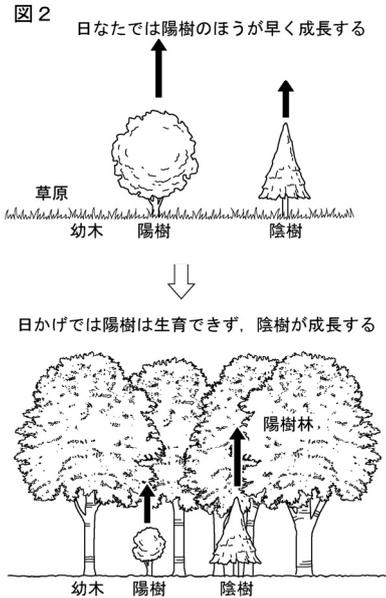
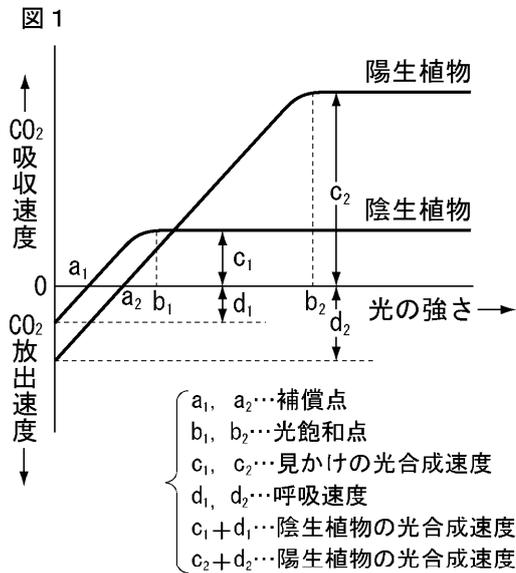
トレードオフ trade-off：一方を追求すれば他方を犠牲にせざるを得ないという二律背反の状態・関係のこと。これがある状況では、具体的な選択肢の長所（merit）と短所（demerit）をすべて考慮したうえで決定を行うことが求められる。
＜生物での例＞***植物が種子を作る場合、数が多い方が子孫を残す確率が大きいと考えられる。他方で、種子は大きい方が生存率（成長度）は大きくなると考えられる。しかし、利用できるエネルギーには限りがある以上、種子を大きくすれば数を多く作るのは困難になる。***
「その環境下で結果として得られる子の数が最大になるように種子の大きさと数が決められる」というような考えをとることを最適化モデルという。また、繁殖戦略における一つの考え方として、数を犠牲にして大きい種子を作って生存率を上げる戦略と、小さくても多数の種子を作って生き残りを図る戦略の二つの方向が存在するという説がある。

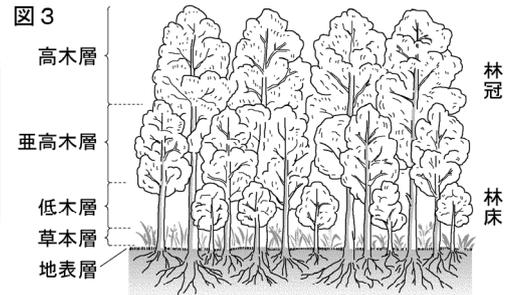
植物の環境要因に対する戦略を考えてみよう。
温暖で水分に不足しない環境が樹木にとっては理想的であり、年間を通じてこの条件が保たれていればそこには（ ***常緑樹林*** ：evergreen forest）が成立する。一方この条件が保てない時期が存在する場合、樹木はこれに対応しなければならなくなる。このとき、もっとも問題になるのが（ ***葉*** ）をどうするかである。葉は、樹木にとっては光合成を行うことで栄養を作る大切な部分であり、長持ちさせたい。しかし、葉は薄くて突出しており、乾燥や冷気に弱い構造でもある。
乾季や冬季がそれほどひどくなければ、樹木は葉を捨てずに切り抜ける。その代わりに、葉を小さく厚く、クチクラ層を発達させるなど、乾燥や冷気に耐久性をもたせる。
しかし、それでも耐えられない程度の地域では、樹木は厳しい時期に葉を捨て、好適な期間だけ葉を広げた方が有利である。このような戦略をとる樹木を（ ***落葉樹*** ：deciduous trees）という。この戦略では、毎年葉を作っては捨てるために、一定の資源の消費を負担しなければならない。その代わり、条件のよい時期だけ葉を持てばよいので、葉は薄くてやや広いものが作れる。
つまり樹木は、乾季や冬季といった葉の維持が困難な時期に一旦は葉を捨てて好適な時期に改めて葉を生産するか、葉を維持することで新しい葉を作るコストを省くかを、適応戦略として選んでいると見ることができる。

Ｑ２．Ａ１.のそれぞれの限定要因は、植物の形質・植生にどのような影響を及ぼすか（自然選択によってどのような性質（生理・形態）が残ってくるか）を考えてみよう。

（１）光の強さ
①個体内での光の当たり方の違いについて
強い光の当たる所には、柵状組織を発達させた厚い陽葉が形成されるが、弱い光が当たるところには、薄くて広い陰葉が形成される。

②種間の成長度の違いについて

日なたの光の強い所では、光合成速度が大きい陽生植物（陽樹）が、陰生植物（陰樹）より早く生育する。一方、弱い光の下では、呼吸速度が小さく、光補償点も低い陰生植物（陰樹）が生育できる（→図１、２）。

③群落内での光の強さの違いについて

森林の場合、空間的な住み分けによる階層構造が形成される（→図３）。林床部は光が弱いため、低木層や草本層、地表層は光合成速度・呼吸速度の小さな陰生植物であることが多い。

④季節性での違いについて

落葉樹林において、春から初夏の、葉が出ていないか、あるいはまだ十分に広がっていない期間は林床にかなりの光が入る。これを利用して、春に花を咲かせ、夏まで葉を広げ、あとは地下で過ごす植物（スプリング・エフェメラル　Spring ephemeral ＝春の儚い命・妖精）がある。
（例：カタクリ、イチリンソウ、フクジュソウ、セツブンソウなど）

（２）降水量

①年間量の違いについて

図４は、年平均気温・年降水量と陸上の主なバイオームとの関係を示したものである。

また、シンガポールの周辺には樹種がきわめて多い熱帯多雨林、カルカッタ（インド）の周辺にはイネ科草本類を主体としたサバナ、カイロ（エジプト）の周辺には砂漠が形成されており、次の図５・６・７は各都市の雨温図である。降水量と植生の関係を考察してみよう。

図５　熱帯雨林気候

月	平均気温（℃）	降水量 mm
1月	26.4	184.8
2月	27.0	120.4
3月	27.5	138.1
4月	27.9	122.9
5月	28.2	170.4
6月	28.3	137.0
7月	27.9	159.8
8月	27.7	156.3
9月	27.6	191.4
10月	27.5	134.1
11月	26.9	272.5
12月	26.3	299.8
年間	27.4	2087.1

図６　サバナ気候

月	平均気温（℃）	降水量 mm
1月	20.0	23.6
2月	23.1	33.4
3月	27.7	47.4
4月	30.2	112.9
5月	30.7	202.3
6月	30.2	239.0
7月	29.3	252.4
8月	29.1	322.0
9月	29.1	251.0
10月	28.1	163.7
11月	24.9	45.6
12月	20.9	10.9
年間	27.0	1704.1

図７　砂漠気候

月	平均気温（℃）	降水量 mm
1月	14.0	5.3
2月	15.2	4.3
3月	17.6	5.2
4月	21.8	1.4
5月	24.7	0.2
6月	27.4	0.0
7月	28.0	0.0
8月	27.9	0.0
9月	26.4	0.0
10月	24.0	0.2
11月	19.1	2.7
12月	15.0	7.3
年間	21.8	26.7

シンガポールは年間を通して高温で、降水量も多いので、熱帯多雨林が分布する。降水量が十分な場合、太い根を持つ木本類（森林）も生育できるが、カルカッタのように降水量が少ない期間が長い（11月～３月）場合、*細くて表面積の割合が大きい根をもつ草本類でないと生育できない。（→サバナ（熱帯草原）・ステップ（温帯草原））

降水量が極度に少ない場合は、気温に関係なく植生の少ない乾地荒原（砂漠）となる。

＊体積は長さの３乗に比例し、表面積は長さの２乗に比例することから、大きなものほどその表面積の割合は小さくなる。

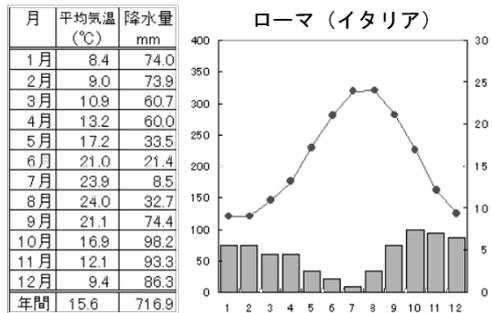
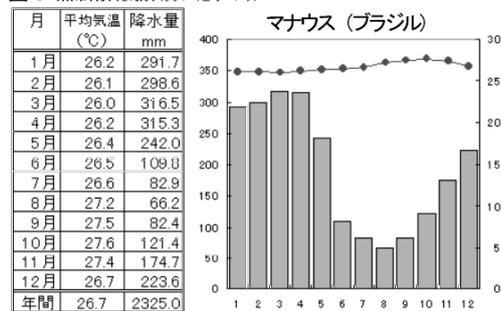
②季節性での違いについて

ローマ（イタリア）の周辺にはコルクガシ・オリーブ・ゲッケイジュなどを主体とした硬葉樹林、マナウス（ブラジル）の周辺には雨緑樹林が形成されている。下の図８・９は、各都市の雨温図である。降水量と植生の関係を考察してみよう。

図８　地中海性気候

月	平均気温（℃）	降水量 mm
1月	8.4	74.0
2月	9.0	73.9
3月	10.9	60.7
4月	13.2	60.0
5月	17.2	33.5
6月	21.0	21.4
7月	23.9	8.5
8月	24.0	32.7
9月	21.1	74.4
10月	16.9	98.2
11月	12.1	93.3
12月	9.4	86.3
年間	15.6	716.9

図９　熱帯雨林気候（弱い乾季あり）

月	平均気温（℃）	降水量 mm
1月	26.2	291.7
2月	26.1	298.6
3月	26.0	316.5
4月	26.2	315.3
5月	26.4	242.0
6月	26.5	109.8
7月	26.6	82.9
8月	27.2	66.2
9月	27.5	82.4
10月	27.6	121.4
11月	27.4	174.7
12月	26.7	223.6
年間	26.7	2325.0

降水量が減少する期間は生育が妨げられるため、個体内の水分の損失を防ぐ形質が発達する。

ローマでは夏季に乾燥するため、クチクラ層を発達させて乾燥を防ぐ硬葉樹が広がる。（落葉して新たな葉を形成するコストは、冬季の光合成では取り返せない。）

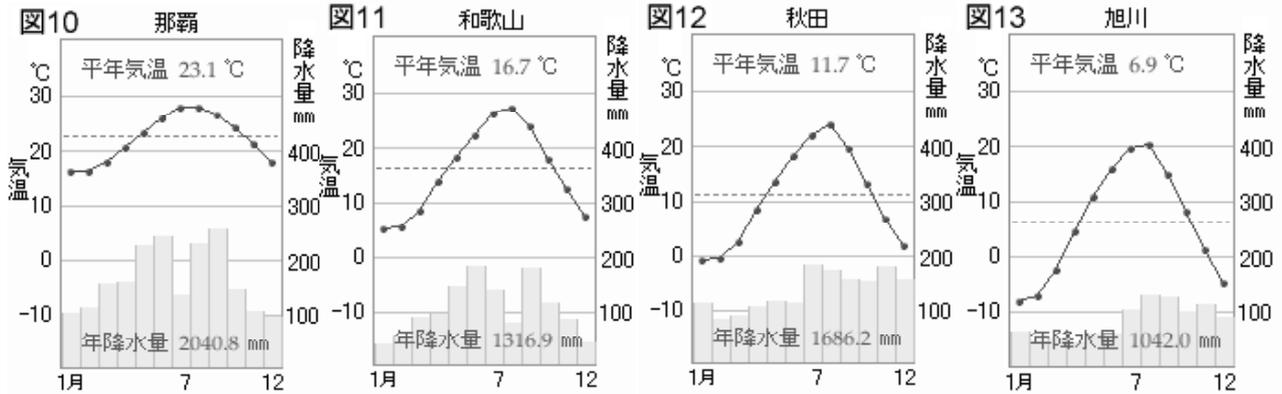
マナウスは、年間を通して高温だが、降水量が極端に多い雨季と少ない乾季がある。乾季は、蒸散で水分を失いやすいため、乾季に葉を落とす雨緑樹が広がる。（新たな葉を形成するコストより大きな利益が雨季の光合成で得られる。）

（３）温度

①日本のバイオームについて

日本は南北に長く、暖かさの指数は南から北へと減少するので、緯度によるバイオームの移り変わりを見ることができる。

那覇の周辺にはアコウ・ガジュマルなどの亜熱帯多雨林、和歌山の周辺にはスダジイ・タブノキな

どの照葉樹林、秋田の周辺にはブナ・ミズナラなどの夏緑樹林、旭川の周辺にはエゾマツ・トドマツなどの針葉樹林が形成されている。下の図10・11・12・13は、各都市の雨温図である。気温変化と植生の関係を考察してみよう。

年間を通じて光合成できる条件が保たれていれば、その地域には常緑樹林が成立する（熱帯多雨林・亜熱帯多雨林）。しかし、光合成速度の低下する低温期間の長さの違いで、生育できる植生が異なる。低温期間が短ければ、葉を小さく厚くし、クチクラ層を発達させて乗り切る（照葉樹林）。やや長期にわたるところでは、樹木は低温期に葉を捨て（落葉）、好適な期間だけ葉を広げる（夏緑樹林）。

さらに低温が長期にわたるところでは、新たな葉を形成するコストを夏季に取り返せないので、落葉せず、より耐寒性に優れている小さく厚い葉をもつ（針葉樹）。

②高緯度地方のバイオームについて

モスクワ（ロシア共和国）の周辺にはモミ・トウヒなどの常緑針葉樹林、シベリア中央部のエニセイ川東側ではカラマツ属の落葉針葉樹、シベリア北部の北極圏やバロー（アメリカ合衆国アラスカ州最北部）の周辺にはコケ植物や地衣類が主体のツンドラが形成されている。右の図14・15は、各都市の雨温図である。気温変化と植生の関係を考察してみよう。

図14 亜寒帯（冷帯）湿潤気候

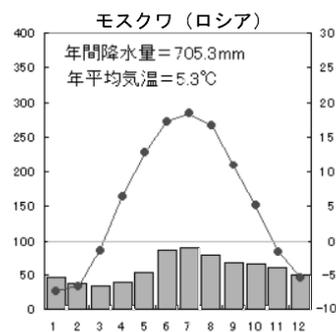
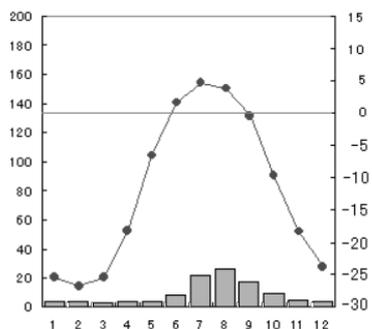



図15 ツンドラ気候　＊気温０℃を図14とそろえて表示

月	平均気温（℃）	降水量 mm
1月	−25.4	3.1
2月	−26.7	3.1
3月	−25.4	2.4
4月	−18.1	3.1
5月	−6.6	3.2
6月	1.7	8.0
7月	4.7	22.2
8月	3.8	26.4
9月	−0.4	17.5
10月	−9.7	10.0
11月	−18.3	4.1
12月	−23.7	3.2
年間	−12.0	106.3

モスクワは降水量が少なく寒冷期間も長いため、落葉広葉樹は新たな葉を形成するコストを夏季に取り返せないために生育できない。耐寒性の優れた針状の葉をもつ常緑針葉樹林が成立する。

常緑針葉樹林よりさらに寒い地域には、寒冷対応として落葉する針葉樹種（カラマツなど）が生育できる。落葉針葉樹林は、その面積は小さく、それより寒い地域では森林そのものが成立しなくなる、いわゆる森林限界となる。シベリア北部の北極圏やバローでは、低温で植物の生長可能期間が短いため樹木が生長できず、短い夏に永久凍土の表面付近の土壌が溶け、コケ植物、地衣類や草本類などが生育できる。

③日変化について

高温・乾燥で昼夜の温度差が大きい環境では、昼間の脱水を防ぐために気孔を閉じ、夜間に気孔を開けて二酸化炭素を取り込む種類（CAM 植物：ベンケイソウ型有機酸合成 Crassulacean Acid Metabolism）が生息している。

（例：サボテン科、ベンケイソウ科カネノナルキ、カランコエなど、トウダイグサ科）

（４）炭素成分（二酸化炭素）について

現在の大気中の二酸化炭素濃度は約0.04％（389ppm〔2010年世界平均〕）で、温暖地の光合成速度では十分な濃度である。二酸化炭素の吸収量は、葉の気孔の開閉度で左右され、これは体内の水分量とリンクしている。

高温地では、植物体内で二酸化炭素を濃縮して光合成速度をさらに大きくする仕組みをもつ種類（C_4植物：維管束鞘細胞にも発達した葉緑体が存在し、ハッチ - スラック回路をもつ C_4型光合成を行う。）が生息している（例：トウモロコシ、サトウキビ、ススキなど）。

（５）窒素成分（アンモニウムイオン NH_4^+、硝酸イオン NO_3^-など）

①土壌中の肥料成分が不足しているやせた土地（岩石・火山灰地など）について

窒素成分を吸収する根の表面積の割合が大きな草本類が生育できる。（ただし、微生物の攻撃を受けやすく、短命である。〔トレードオフ〕）　〔→一次遷移〕

木本類は太い根を形成するため、表面積の割合が小さく、窒素成分の吸収度が小さいため、最大光合成速度も小さくなり、生育しにくい。

②窒素固定について

クロストリジウム（嫌気性細菌）やアゾトバクター(好気性細菌)、マメ科植物の根に共生する根粒菌などは、大気中の窒素（N_2）を取り込んでアンモニウムイオン（NH_4^+）に換えている〔窒素固定〕。ただし、窒素固定には多大なエネルギーが必要であるため、貧栄養下や一次遷移の初期で有利である。

【発展】ヤシャブシ：大気から窒素固定を行う放線菌を共生しているため、貧栄養の砂礫地に生育している。本種は、晩秋に葉から窒素成分を回収せず（紅葉しない）、初冬にかけて光合成を行う。気温が氷点下になると壊死して落葉する。（温暖地は落葉せずに３月頃に新芽と入れ替わる。）

【まとめ】

世界のバイオームについて

年平均気温・年降水量とバイオームとの関係をグラフに表す。横軸に年平均気温、縦軸に年降水量をとると、上記Ｑ２（２）で考察した内容は、図16中の（２）のように、縦に見ることができる（→図17）。また、上記Ｑ２（３）で考察した内容は、図14中の（３）のように、横に見ることができる（→図18）。

図16

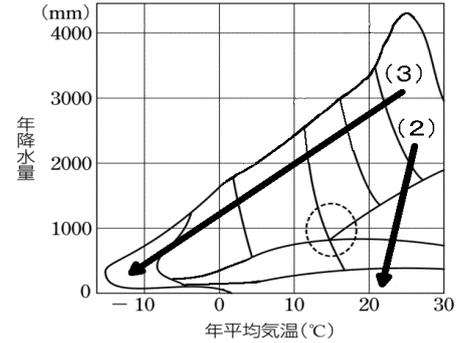



図17
（２）年降水量とバイオームとの関係

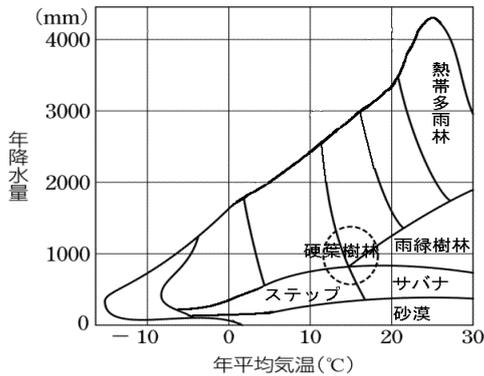
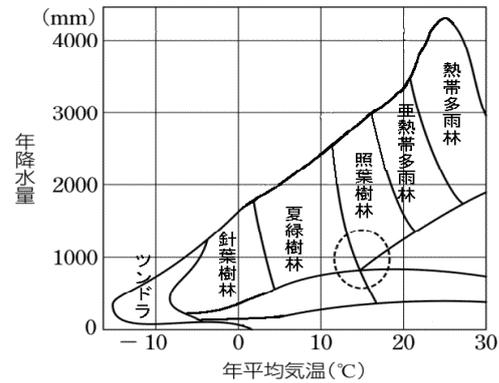
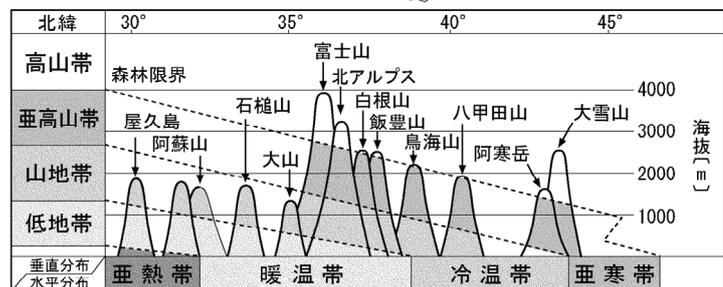
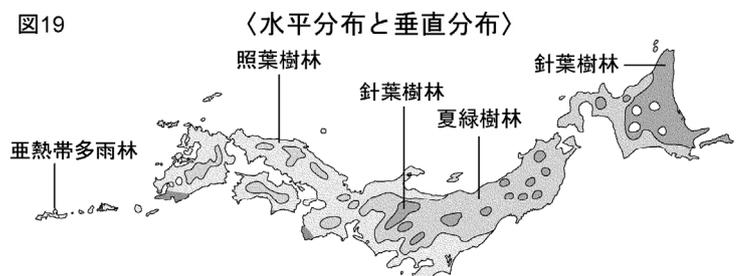



図18
（３）年平均気温とバイオームとの関係

日本のバイオームについて

日本はほぼ全域にわたって降水量が豊かであり、森林が形成される条件を備えている。そのため、気温の違いがバイオームの違いとなる。

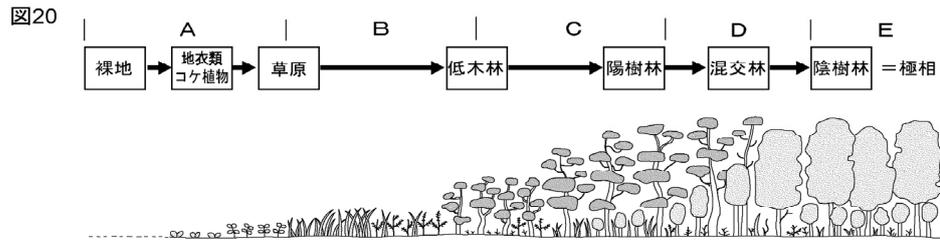
緯度と標高の違いにより気候が変化することが分布の違いに結び付く。具体的には、陸上では水平には極側、垂直には標高の高い側でより寒冷になるから、気候に結び付いてはっきりした帯状分布があり、水平分布と垂直分布はよく似た変化を示す（→図19）。

図19　〈水平分布と垂直分布〉

Q３．日本の主な植物群系について調べ、次の表にまとめよう。

	亜熱帯多雨林	照葉樹林	夏緑樹林	針葉樹林
代表種	*アコウ、ガジュマル木生シダ、ソテツ、ビロウ*	*シイ、カシ、ツバキ、クスノキ、タブノキ*	*ミズナラ、ブナ、カエデ、ケヤキ、クリ、*	*トウヒ、シラビソ、エゾマツ、トドマツ* *日本海側；スギ・ヒノキアスナロ(ヒバ)* *太平洋側；モミ・ツガ・ヒノキ*
特徴	*熱帯雨林に比べて、高木層の発達がやや悪く、着生植物や蔓植物が少ない。* *他の群系より種の多様性が見られる。*	*葉の表面に厚いクチクラをもつ常緑広葉樹（遷移後期種）が主な樹種である。*	*落葉広葉樹(先駆種)が優先する。*	*種数は少なく、純林を形成することが多い。*
気候区分	*亜熱帯*	*暖温帯*	*冷温帯*	*亜寒帯*
垂直分布	*南西諸島平野部*	*暖温帯低地帯*	*暖温帯山地帯～* *冷温帯低地帯*	*亜高山帯～* *亜寒帯低地帯*
冬季	*常緑*	*常緑*	*落葉*	*常緑*
吸水	*道管（被子植物）*	*道管（被子植物）*	*道管（被子植物）*	*仮道管（裸子植物）*
コスト	*〇幹を高く生長させる。*	*〇葉を厚くする。*	*〇落葉による物質損失を補うための生長。*	*〇低温・乾燥に耐える葉を形成する。*
ベネフィット	*〇強い光を受けて、光合成を盛んに行える。*	*〇強い光を受けて、光合成を盛んに行える。* *〇乾燥・弱い寒冷に適応している。*	*〇好適期のみ薄い葉を形成する。* *〇秋に窒素成分などを回収して再利用する。*	*〇葉をある程度更新せず、長期間光合成し続けられる。*
メリット	*〇幹の材密度を小さくして成長度を大きくできる。（例：バルサ）*	*〇厚い葉：物理的ストレス（強風など）や被食に強く、繰り返し使用できる。* *〇落葉樹の林床で弱光下でも晩秋や早春に成長でき、ゆっくり落葉樹を追い越す。* *〇道管：多量の水を供給でき、光合成量大。（降水量の半分は蒸散させている。）*	*〇薄い葉：少ないエネルギーで形成でき、夏季の純生産量が大きく、成長度大。また、弱光下でも光合成量が大きく有利である。* *〇ギャップ更新では落葉樹（陽樹）の方が成長度は大きい。* *〇幹の材密度を小さくして成長度大（例：キリ、サクラ、ヤナギ）*	*〇仮道管は、凍結しても気泡が入りにくく、入っても水柱に混入しにくい。（寒冷地適応）* *〇針葉：葉を立てて単位面積当たり多くの葉をつけ、純生産量を上げる。*
デメリット	*〇幹の材密度が小さく、強風などで折れやすい。*	*〇道管：氷点下で道管内の水分が凍結し、気泡が発生（エンボリズム）すると、融解後も残って吸水を阻害し、葉が脱水状態になる。* *〇厚い葉：形成にエネルギーを要する。*	*〇薄い葉：物理的ストレス（強風など）や被食に弱く、短命である。*	*〇仮道管：水を通しにくく、成長度は小さい。* *〇針葉：光合成速度が小さい。*
トレードオフ	*〇幹：高い成長速度／材の密度小、菌の攻撃に弱い*	*〇道管：夏の高い成長速度／寒冷地での生存*	*〇葉：低コスト長寿命* *〇材密度小で成長大／菌の攻撃に弱く短命*	*〇仮道管：夏の遅い成長速度／寒冷地での生存*

Q４．植物群落の時間的な変化（遷移）について考えてみよう。

植物群落と環境は相互作用により変化しながら維持されている。図20は、暖温帯において裸地からの植生の変化（一次遷移）の様子をまとめたものである。Ａ～Ｅの各時期の特徴をまとめた次の表の空欄に適する記述を入れよう。

図20

時間	裸地～荒原 0～1年	草原 1～10年	低木林 10～25年	陽樹林 20～100年	混交林	陰極林（極相林） 100年～
おもな植物	地衣類 コケ植物	ススキ イタドリ	アカメガシワ ミズキ	アカマツ コナラ シラカンバ	アカマツ カシ シイ	シイ・カシ クスノキ タブ

植物群落の一次遷移（暖温帯）

	A	B	C	D	E
（１） 光の強さ	***直射日光が当たる。***	***光をめぐる生長度の差が現れる。***	***林床がやや暗くなる。***	***先駆樹種の芽生えは生育できなくなる。***	***林床がうっそうと暗くなる。***
（２） 地表の水分	***乾燥しやすい。***		***保水性が高まる***		***湿潤になる。***
（３） 地表の温度	***高温で、変化が激しい。***				***穏やかで安定している。***
（５） 土壌	***岩石の風化により、砂礫が形成される。***	***落葉・落枝が蓄積し、有機物を含んだ土壌が形成される。***	***土壌微生物による有機物分解量がさらに増加する。***	***腐植層が発達する。***	
植生の変化	***生活環が短いコケ類や地衣類、乾燥に強い草本類（先駆植物）がパッチ状に広がる。***	***草原の中に、生育の早い陽樹（先駆樹種）が広がり、低木林が形成されていく。***	***陽樹が生育して高木林を形成する。***	***陽樹の高木の下で陰樹（極相樹種）の幼木が生長している。***	***陰樹（極相樹種）だけでなく、多くの樹種がモザイク状に混じるようにして維持されている。***
				枯死や荒天などによる倒木で、林床に光が届く場所（ギャップ）が生じると、陽樹の幼木が早く生長する。（ギャップ更新*→図21）	
個体の高さ	***低い***		***高層化***		***高層で安定***
階層構造	***１層***		***多層化***		***複数層で安定***
種子の形態	***風散布型***		***動物散布型***	***・重力散布型***	

＊ギャップ更新

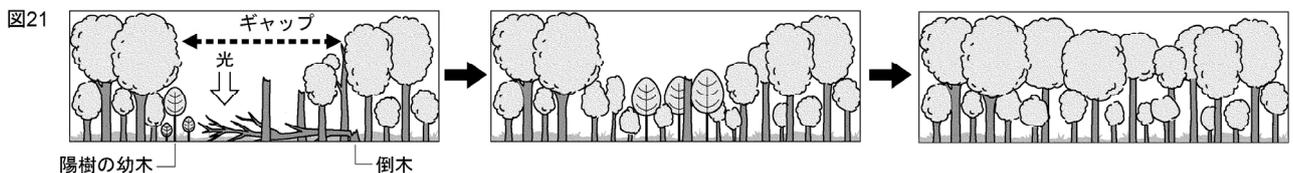
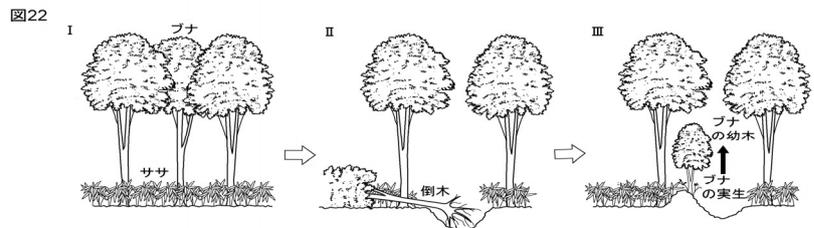
図21

【考察】図22は、あるブナ林での変化を示したものである。Ⅰの状態の時期にブナの幼木が生育しなかった理由を記述せよ。

図22

A．***ササの下に落ちたブナの種子が発芽しても、林床には補償点以上の強さの光が当たっておらず、生長できなかったと考えられる。***

→ブナの幼木は比較的耐陰性が強く、林床に実生の集団を作り、頭上の木が倒れて周囲が明るくなるのを一定期間待つことができる。ただし、林床にササが生い茂っていると、ブナの幼木は育たない。更新されないと、ブナが落葉して林床の明るくなる晩秋や早春に、常緑陰樹（針葉樹）の実生が光合成して成長していき、混合林になっていくと考えられる。

（日本海側；スギ・ヒノキアスナロ（ヒバ）　太平洋側；モミ・ツガ・ヒノキなど）

〔参考〕白神山地：青森県の南西部から秋田県北西部にかけて広がる山地で、人の手が加えられていないブナの原生林からなる地域である。クマゲラ、イヌワシ、クマタカ、シノリガモ、カモシカ、ニホンザル、ヤマネ、ツキノワグマなどが生息する。1993年、日本で最初にユネスコ世界自然遺産に登録された。

最近発見された17世紀の白神山地の植生図によると、ヒノキアスナロ（ヒバ）が生育していたようである。江戸時代（当時の人口約3000万人）、年貢などのため、高級材のヒノキアスナロが伐採されたことにより、現在のような植生になったと考えられる。柔らかく反り曲がったブナ（漢字は「橅（木に無）」）の木は従来、椎茸栽培以外にはあまり役に立たない木であったために、「木材としては用を無さない」として伐採を免れたと言えるだろう。

◇平成23年度高等学校における教科指導の充実　研究協力委員・研究委員
（理科〔生物領域〕）

研究協力委員

栃木県立佐野女子高等学校
栃木県立佐野東高等学校　　　　　　　教　　諭　　坂井　広人

研究委員

栃木県総合教育センター　研究調査部　指導主事　　滝田　博之